

SKRIPSI - ME 141501

**ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BATTERY
MANAGEMENT SYSTEM DAN MAXIMUM POWER POINT
TRACKER PADA JALAPATIH 2**

**MUHAMMAD FAUZAN MAULIAWAN
NRP. 4213 106 008**

Dosen Pembimbing

- 1. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.**
- 2. Juniarko Prananda, ST., M.T.**

***JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER***



FINAL PROJECT - ME 141501

**ANALYSIS OF INFLUENCE USED BATTERY
MANAGEMENT SYSTEM AND MAXIMUM POWER
POINT TRACKER IN JALAPATIH 2**

**MUHAMMAD FAUZAN MAULIAWAN
NRP. 4213 106 008**

Counselor

- 1. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.**
- 2. Juniarko Prananda, ST., M.T.**

***JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN***

**ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BATTERY
MANAGEMENT SYSTEM DAN MAXIMUM POWER POINT
TRACKER PADA JALAPATIH 2**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar sarjana teknik

Pada

Bidang *Marine Electrical and Automation System*
Program studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Oleh :

MUHAMMAD FAUZAN MAULIAWAN

NRP 4213106008

Disetujui :

Pembimbing tugas akhir

Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.
196807011995121001



Juniarko Prananda, ST., M.T.
199006052015041001



**SURABAYA
JULI 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM DAN MAXIMUM POWER POINT TRACKER PADA JALAPATIH 2

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar sarjana teknik
Pada

Program studi S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Oleh :

MUHAMMAD FAUZAN MAULIawan
NRP 4213106008

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS :



Dr. Eng M. Badruz Zaman, ST, MT.
197708022008011007

ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN *BATTERY MANAGEMENT SYSTEM* DAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* PADA JALAPATIH 2

Nama Mahasiswa : Muhammad Fauzan Mauliawan
NRP : 4213106008
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.
Juniarko Prananda, ST., M.T.

Abstrak

Jalapatih 2 merupakan kapal bertenaga surya tim mahasiswa JTSP FTK-ITS yang mengikuti perlombaan *dutch solar challenge* 2016. Kapal tenaga surya ini merupakan hasil penyempurnaan Jalapatih 1 yang gagal ikut berlomba pada lomba sejenis di tahun 2014, akibat kecepatan minimum yang ditetapkan panitia tidak dapat tercapai.

Kegagalan Jalapatih 1 disebabkan terlalu sederhananya sistem yang dipergunakan, sehingga pada tahun 2016 ini Jalapatih 2 dilengkapi dengan MPPT dan BMS untuk meningkatkan kemampuan penyerapan energi surya dan pengaturan *charge* dan *discharge battery*. pengujian kecepatan dan sistem kelistrikan dilakukan dengan metode manual atau percobaan serta simulasi dengan software.

Sesuai dengan hasil pengujian di kolam delapan ITS, Jalapatih 2 dapat melaju dengan kecepatan mencapai 7,3 knot. Sedangkan hasil yang dicapai saat melakukan pertandingan di Belanda pada tanggal 2-9 Juli 2016, kecepatan Jalapatih 2 mencapai 6,2 knot. Penurunan kecepatan ini disebabkan intensitas energi matahari di Belanda yang lebih kecil dibandingkan di Indonesia dan kurang optimalnya penyerapan energi matahari oleh sel panel surya yang dipergunakan. Dimana empat panel surya yang dipergunakan, hanya tersedia satu buah MPPT.

Kata Kunci : Jalapatih 2, MPPT, BMS.

ANALYSIS OF INFLUENCE USED BATTERY MANAGEMENT SYSTEM AND MAXIMUM POWER POINT TRACKER IN JALAPATIH 2

Name : Muhammad Fauzan Mauliawan

NRP : 4213106008

Department : Marine Engineering

Advisor :

1. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.

2. Juniarko Prananda, ST., M.T.

Abstract

Jalapatih 2 is a solar-powered boat team JTSP FTK-ITS students who follow the race dutch solar Challenge 2016, as the result of improvements Jalapatih 1 who fail participated in a race on a similar contest in 2014, suspect due to the minimum speed set by the committee could not be reached.

Failure Jalapatih 1 due to too simple a system used to be, so that by 2016 Jalapatih 2 improvement and equipped with MPPT and BMS to improve solar energy absorption capability and battery charge and discharge arrangements. testing speed and electrical system performed by manual methods or experiment and simulation software.

In accordance with the test results in a ITS lake, Jalapatih 2 can reach speeds up to 7.3 knots. While the results achieved when playing games in the Netherlands in tanggal 2 to 9 July 2016 2 Jalapatih speed up to 6.2 knots. This speed reduction due to the intensity of solar energy in the Netherlands is much smaller than in Indonesia and less optimal absorption of solar energy by solar panel cells are used. Wherein four solar panels were used, only a single piece MPPT.

Keywords: Jalapatih 2, MPPT, BMS.

Keyword : Jalapatih 2, MPPT,

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas karuniaNya laporan yugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Penulisan tugas akhir ini dilakukan untuk melenkapi syarat memperoleh gelar sarjana teknik di jurusan teknik sistem perkapalan, FTK-ITS. Dengan tugas akhir ini, mahasiswa diharapkan dapat mengaplikasikan ilmu yang diperoleh dan dapat memberikan informasi yang dibutuhkan oleh pembaca. Dalam penyusunan laporan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga membuka pikiran penulis dalam keadaan apapun.
2. Orangtua dan keluarga yang selalu memberikan bantuan berupa sarana, dukungan, doa dan motivasi sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.
3. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc dan Juniarko Prananda, ST., M.T. selaku pembimbing tugas akhir yang mana dengan sabar dan bijaksana membantu penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir.
4. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
5. Marine Solar Boat Team yang selalu memberikan semangat dan motivasi untuk dapat menyelesaikan tugas akhir.
6. Media nasional yang meliput dan mempromosikan Jalapatih 2
7. Segenap perusahaan yang telah membantu berjalannya tugas akhir ini dengan baik.

8. Dosen dan teman-teman politeknik negeri Jakarta
9. Teman-teman teknik sistem perkapalan
10. Sdr.Daniel, Hadiman,Heru, Nur, Pemal dan Didik yang membantu di belakang layar.
11. Peserta lomba dari kampus TU delft, NHL, Antwerp, TU Yildiz dan koinklijke marine yang berbagi informasi dan pengetahuannya
12. Semua pihak yang tidak dapat dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari tentunya ada kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu sangat diharapkan saran maupun kritik yang membangun dari pembaca.

Surabaya, Juli 2016

Muhammad Fauzan Mauliawan

DAFTAR ISI

BAB I	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat penelitian.....	7
“halaman sengaja dikosongkan”	8
BAB II	9
2.1 Battery Management System.....	9
1) Kontrol (kendali) <i>Discharging</i>	10
2) Kontrol (kendali) <i>charging</i>	10
3) Menentukan <i>State Of Charge</i> (SOC).....	11
4) Menentukan <i>state of health</i> (SOH).....	12
5) <i>Cell Balancing</i> (menseimbangkan sel).....	12
6) Komunikasi	14
2.2 <i>Maximum Power Point Tracker T80HV</i>	15
2.3 <i>Wiring Diagram MPPT T80 HV</i>	18
2.4 Sel Surya	18
2.5 Prinsip Kerja Solar Cell.....	20
2.6 Perkembangan Solar Cell	21
2.6.1 Mono-crystalline (Si)	21
2.6.2 <i>Poly-crystalline/Multi-crystalline (Si)</i>	22
2.7 Mengenal Performasi Panel Surya	22

2.8 Faktor Pengoperasian Sel Surya	23
2.8.1 Suhu.....	23
2.8.2 Radiasi Solar Matahari (<i>insolation</i>).....	24
2.9 Motor DC	24
2.10 Prinsip kerja motor DC.....	26
2.11 Jenis-jenis motor DC	27
2.12 Keuntungan motor DC adalah :	29
1. Tegangan induksi	29
2. Kecepatan	30
3. Kopel elektromagnetik	30
4. Karakteristik kecepatan kopel	31
5. Rugi dan Efisiensi dalam motor arus searah	31
2.13 <i>Speed Control</i> Motor DC	33
1. Metode Ward Leonard.....	33
2.14 <i>Braking System</i> (sistem pengereman) <i>Counter Current Plugging</i>	35
“halaman sengaja dikosongkan” . Error! Bookmark not defined.	
BAB III.....	37
3.1 Perumusan Masalah.....	38
3.2 Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori.....	38
3.3 Penentuan Komponen.....	38
3.4 Installasi Sistem kelistrikan.....	39
3.5 Pengumpulan data dan trial	39
3.6 Analisa hasil trial.....	39

3.7	Pembuatan Laporan.....	40
BAB IV		41
4.1	Umum.....	41
4.2	Menentukan <i>Fuse</i> dan <i>D.M Switch</i>	41
4.3	Menentukan MPPT dan <i>Solar Cell</i>	43
4.4	Menentukan Baterai.	46
Halaman ini menggunakan kertas A4 Error! Bookmark not defined.		
4.5	Pengaruh penggunaan MPPT dan BMS.....	49
Halaman ini menggunakan kertas A4 Error! Bookmark not defined.		
4.6	Pengujian <i>solar boat</i> dengan MPPT dan BMS.....	53
4.7	Karakteristik MPPT T80 HV dan BMS.	56
BAB V		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	63

DAFTAR GAMBAR

BAB I

1.1 Hasil dari perlombaan <i>Dutch Solar challenge</i>	2
1.2 Trial Jalapatih 2.....	3

BAB II

2.1 <i>Battery Management System</i>	9
2.2 Kondisi tidak seimbangnya baterai setiap sel	10
2.3 Kondisi tegangan baterai berdasarkan kondisi baterai	12
2.4 Skema balancing aktif dan pasif.....	14
2.5 Grafik metode <i>charging</i> dan <i>discharging</i>	16
2.6 <i>Wiring Diagram multi line</i> MPPT.....	18
2.7 Cara kerja sel surya.....	20
2.8 Aliran listrik dan electron pada sel.....	21
2.9 Grafik V-I kurva.....	23
2.10 Efek suhu pada tegangan.....	24
2.11 Intensitas matahari terhadap arus.....	24
2.12 Bagian-bagian motor DC.....	25
2.13 kaidah tangan kanan DC.....	26
2.14 Deskripsi rangkaian motor DC Shunt.....	28
2.15 Deskripsi rangkaian motor DC seri.....	28
2.16 Rangkaian motor DC kompon panjang.....	28
2.17 Rangkaian motor DC kompon pendek.....	29
2.18 Ward Leonard.....	34
2.19 Digitalized speed control thyristor bridge...	34
2.20 Motor bekerja ke arah kanan dan kiri.....	35

BAB IV

4.1 <i>Fuse</i> AMG 300 Amp.....	42
4.2 <i>Deadman switch</i> 300 Amp	42
4.3 MPPT T80HV.....	43

4.4 Rangkaian seri baterai.....	44
4.5 Hubungan antara tegangan terhadap waktu....	45
4.6 Hubungan antara instensitas terhadap waktu...	45
4.7 Hubungan antara tegangan dan arus.....	46
4.8 Skema rangkaian baterai.....	47
4.9 Baterai LifePO4.....	47
4.10 Hubungan antara tahanan dengan kecepatan.	49
4.11 Hubungan antara torsi dengan kecepatan.....	50
4.12 Hubungan antara tegangan dengan kecepatan..	50
4.13 Hubungan antara <i>thrust</i> dengan kecepatan....	51
4.14 Hubungan antara torsi - kecepatan MPPT.....	53
4.15 Hubungan antara DHP dengan kecepatan.....	54
4.16 Hubungan antara tahanan dengan kecepatan....	54
4.17 Hubungan antara <i>thrust</i> dengan kecepatan....	55
4.18 Karakteristik MPPT T80HV bulk mode.....	56
4.19 Hubungan antara torsi dengan kecepatan.....	56
4.20 Blok Diagram konfigurasi MPPT.....	58
4.21 Pengaruh efisiensi terhadap PWM.....	62

DAFTAR TABEL

BAB I

1.1 Hasil Trial Jalapatih 2.....	5
1.2 Kekurangan dan kelebihan sel surya.....	19

BAB IV

4.1 Hasil arus terhadap kecepatan.....	42
4.2 Spesifikasi beban dan tegangan MPPT.....	43
4.3 Spesifikasi panel surya... ..	44
4.4 Data pengujian <i>solar cell</i> dengan MPPT.....	48
4.5 Tabel <i>Solar Boat</i> Tanpa MPPT dan BMS.....	52
4.6 Tabel <i>Solar Boat</i> Tanpa MPPT dan BMS.....	52
4.7 Parameter MPPT T80 HV	57
4.8 Nilai Induktansi dan Kapasitansi dari MPPT ..	60
4.9 Skema <i>width open</i> dari dioda pada MPPT... ..	61

LAMPIRAN

1. Spesifikasi dari MPPT T80HV
2. Tabel perhitungan total dari Jalapatih 2
3. Spesifikasi dari motor listrik Torqeedo cruise 2.0 R
4. Spesifikasi dari *Battery Management System*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalapatih 2 adalah sebuah kapal generasi kedua yang diciptakan ITS *marine solar boat team* yang akan dilombakan dalam kejuaraan *dutch solar challenge* di Amsterdam 2016, *dutch solar challenge* terdiri dari *V class*, *Top Class* dan *A class* dimana Jalapatih 2 mengikuti *A class* dengan panjang kapal 5 meter lebar 1,8 meter dan sarat air 0.1 meter. Dengan *track* dan *rule* perlombaan yang ketat, maka banyak partisipan tidak dapat menyelesaikan perlombaan dengan baik, berikut ini adalah hasil perlombaan yang tertera pada Gambar 1.1 terkait hasil perlombaan yang ada pada Jalapatih 1 ITS *marine solar boat team* pada tahun 2014 :

Sprint 3rd (Final)

Rank	Participant	Class	Score number	EST Score	EST Time	Finality	Time
1	Energy Solar Team, ROC Pleasant Road Challenge	A	20				0.00:00.00
2	Dutch Solar Road Team	A	16		0.00:00.00		0.00:00.47
3	Solar Team Antwerp Pleasant Road Challenge	A	1				0.00:00.12
4	Shenzhen Solar Road	A	6				0.00:00.14
5	SolarTeam Skipper	A	19	0.01:00.00			0.00:00.52
6	VolvoTeam Racing	A	7	0.01:00.00			0.00:00.53
7	SolarTeam PleasurePoint Team	A	8	0.01:00.00			0.00:01.14
8	HAUS Solar Team	A	4	0.01:00.00			0.00:01.26
9	WHL SolarRoad Racing	A	19	0.01:00.00			0.00:01.26
10	SolarTeam Underberg	A	2	0.01:00.00			0.00:01.28
11	Arwen Solar Pleasure	A	14	0.01:00.00			0.00:01.52
12	DSRC Solar Road Team	A	21	0.01:00.00			0.00:01.53
13	Autonomous Solar Road Team	A	23	0.00:00.00			0.00:00.00
14	On Road Pleasure College	A	3	0.02:00.00			0.00:00.46
15	YTS Solar Road Team	A	11	0.02:00.00			0.00:01.14
16	YMC-Banckin PleasurePoint	A	26	0.03:00.00			0.00:00.00
17	China Dragon	A	30	0.03:00.00			0.00:00.00
18	Hyundai Solar Road	A	12	0.03:00.00			0.00:00.00
19	Anglo Solar Road Team	A	22	0.03:00.00			0.00:00.00
20	University of Bathurst	A	24	0.01:00.00			0.00:00.52
21	HAUSOH Solar Road Team	A	9	0.02:00.00			0.00:00.00

Remain 4 participant
75% failed / 25% success

TROUBLE

24 th

Gambar 1.1. hasil dari perlombaan di *dutch solar challenge*
(Sumber : <http://www.dutchsolarchallenge.nl/nl/>)

Dari hasil perlombaan pada Gambar 1.1 Jalapatih 1 generasi pertama mendapatkan peringkat terakhir yang disebabkan kapal tidak lolos kualifikasi *speed* dan *endurance*, maka dari itu kapal Jalapatih generasi kedua melakukan perbaikan pada sistem kelistrikan dan propulsi yang bertujuan untuk mendapatkan kecepatan yang sesuai. Pada 2014 lalu kecepatan kapal berkisar 4 knot sementara untuk lulus kualifikasi panitia menetapkan kecepatan minimum 5 knot. hasil analisa dari perlombaan tersebut menunjukkan bahwa *endurance* menjadi hal yang utama khususnya menjaga sistem tetap pada kondisi stabil dan maksimal karna kapal yang menjadi juara pada tahun 2014 adalah kapal dari Belanda dengan rata-rata kecepatan berkisar 7,8 knot. Sedangkan kapal Jalapatih 2 seperti pada gambar 1.2, berdasarkan pengukuran manual dan GPS terakhir dapat menempuh kecepatan 7,3 knot dengan *endurance* 2 jam



Gambar 1.2 Trial Jalapatih 2, 16 Oktober 2015

(Sumber : ITS marine solar boat documentation)

Tujuan diambil penelitian dengan judul analisa penggunaan *battery management system* dan MPPT terhadap kinerja solar boat Jalapatih 2 adalah memperbaiki kegagalan sistem pada tim sebelumnya yang diakibatkan fluktuasi

tegangan sehingga tidak dapat mencapai kecepatan maksimal, cara kerja dari *battery management* itu sendiri adalah sebagai *balancing* setiap sel baterai dan *maximum power point tracker* adalah suatu sistem elektronik untuk mencari point (titik) maksimum dari tegangan dan arus keluaran pada penggunaan panel surya sehingga tidak terjadi lagi fluktuasi tegangan^[5].

1.2 Perumusan Masalah

Aplikasi penggunaan *battery management system* dan *Maximum Power Point Tracker* sebagai kontrol arus pada kapal Jalapatih 2 telah menjadi obyek penelitian pada satu tahun terakhir ini. Ketertarikan ini berdasarkan pertimbangan untuk mendapatkan daya yang maksimal pada kinerja *solar boat*. Berbagai penelitian untuk mempelajari karakteristik *battery management system* dan *Maximum Power Point Tracker* telah dilakukan, studi terkait dimaksudkan untuk mempelajari karakteristik arus dan tegangan terhadap *prime mover* Jalapatih 2.

Pendekatan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil dari analisa terhadap pengaruh penggunaan *battery management system* dengan MPPT adalah dengan simulasi dan *trial* yang dilakukan di ITS dan *workshop solar boat*, modifikasi sifat-sifat fisika pada baterai untuk mengetahui karakteristik dari penyimpanan listrik itu sendiri.

Berdasarkan *trial* yang telah dilakukan terhadap penggunaan BMS pada kapal solar boat didapatkan hasil seperti pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Hasil Trial Jalapatih 2

Va		Va	Q	n	Thrust	THP	DHP	Tegangan	Arus	Resistance	Power Consumption		
knot	m/s	km/h	knot	Nm	Rpm	Rps	Lbs	Watt	Watt	V	I	Rt	Watt
1	0.514	1.83	0.63	0.0030	117	1.95	1.763256	1.14	2.23	24	0.16	1.199	3.84
2	1.028	3.70	1.29	0.0063	239	3.92	3.791395	4.89	9.39	24	1.34	2.51	29.76
3	1.542	5.55	1.94	0.0129	392	5.87	9.277519	17.93	35.2	24	4.19	6.314	100.36
4	2.056	7.40	2.58	0.0343	469	7.82	19.94733	51.46	100.91	24	9.93	13.574	238.32
5	2.570	9.25	3.23	0.0644	587	9.78	37.53335	121.01	237.38	24	19.39	25.535	485.36
6	3.084	11.10	3.87	0.1094	704	11.73	63.70291	246.63	483.99	24	33.5	43.369	804
7	3.598	12.95	4.52	0.1710	822	13.70	100.3837	432.80	887.85	24	59.2	69.246	1276.8
8	4.112	14.80	5.16	0.2353	939	15.65	148.9349	768.45	1506.77	24	79.42	101.344	1906.08
8.12933	4.179	15.04	5.24	0.3628	1056	17.60	233.9939	1226.96	2405.81	24	83.33	143.8833	3000
9	4.626	16.65	5.81	0.4963	1174	19.57	321.4731	1866.13	3659.12	24	113.08	159.11	2713.92
10.0	5.140	18.30	6.45	0.5096	1290	20.83	316.2791	2040.00	4000	24	159.11	210.468	3722.64

hubungan pengaruh daya, kecepatan terhadap konsumsi baterai pada kapal *solar boat* memiliki keterkaitannya masing-masing. Analisa dilakukan dengan pendekatan dasar ilmu listrik dan elektronika dan hasil *trial* yang telah dilakukan.

Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan *Battery management system*, MPPT dan sistem kelistrikan pendukung lainnya yang tepat dapat memberikan hasil yang signifikan terhadap kapal. karna prinsip kerja dari BMS adalah sebagai kontrol arus yang dapat juga memonitoring kondisi aktual dari pengisian (*state of charge*) dan transfer energi dari baterai itu sendiri.

Dalam penelitian ini akan digunakan *baterai lifePo4* yang merupakan baterai yang umunya digunakan pada saat perlombaan. Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimen dan teoritis dengan menggunakan BMS, MPPT, baterai *LiFePO4* dan motor *DC PMG* sebagai bahan uji. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menghasilkan sebuah analisa teknis kondisi nyata karakteristik arus pada

saat perlombaan dan konsumsi daya yang dibutuhkan kapal pada saat kondisi tertentu.

Sehingga dari uraian diatas dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut :

- Bagaimana menstabilkan tegangan yang masuk ke motor tetap pada batas kerja motor sendiri.
- Bagaimana menentukan setting yang tepat untuk MPPT T80HV.
- Bagaimana menentukan *charge* dan *discharge* yang masuk ke setiap *cell* baterai tetap efektif.

1.3 Batasan Masalah

Dengan semakin rendahnya atau tingginya temperatur, maka akan menurunkan efisiensi dari komponen yang bersifat semikonduktor itu sendiri, Kondisi intensitas matahari yang fluktuatif turut serta memberikan *margin error* saat *trial*.

1. Tidak membahas kondisi intensitas matahari saat lomba.
2. Tidak membahas desain bentuk lambung kapal.
3. Tidak menganalisa sistem propulsi pada kapal.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya adalah :

1. Menstabilkan tegangan yang masuk ke motor dengan MPPT T80HV.
2. Mengetahui karakteristik BMS dan MPPT T80HV agar didapatkan *setting* yang sesuai.
3. Menentukan *state of charge* baterai.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini baik untuk saat ini maupun nanti adalah :

1. Riset berkelanjutan terkait penggunaan *battery management system* dan MPPT dalam bidang maritim.
2. Dapat digunakan sebagai rujukan dalam merancang moda transportasi massal hemat energi yang dapat diaplikasikan pada sungai-sungai dalam kota.

“halaman sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Battery Management System

Battery Management System (BMS) adalah perangkat elektronik yang dapat mengelola pengisian ulang baterai (sel atau baterai) yang memiliki bentuk fisik seperti pada gambar 2.1, serta memantau keadaan baterai, menghitung data sekunder, melaporkan data baterai, melindungi baterai, mengatur kondisi sekitar baterai dan keseimbangan baterai ^[2].



Gambar 2.1 *Battery Management System*
(Sumber : ITS Marine Solar Boat Team)

Sebuah BMS dapat memantau kondisi dari baterai melalui input dari beberapa item^[3] :

Voltage: total tegangan, tegangan dari tap periodik atau tegangan dari masing-masing sel baterai.

Temperature: temperatur rata-rata, temperatur udara masuk, temperatur udara keluaran atau temperatur dari setiap sel baterai.

State Of Charge (SOC) atau Depth Of Discharge (DOD): untuk mnengindikasikan level/tingkat pengisian daya pada baterai.

State Of Health (SOH), didefinisikan sebagai sebuah penunjukan kondisi baterai melalui beberapa macam pengukuran terhadap baterai.

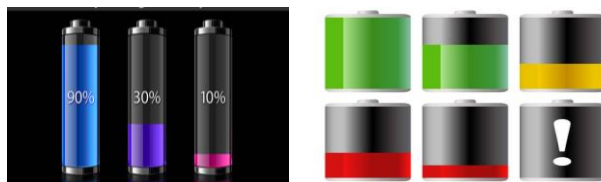
Air flow: sebagai indikasi untuk udara pendingin suhu baterai.

Current: arus yang keluar atau masuk ke dalam sel baterai.

Dan memiliki fungsi sebagai berikut :

1) Kontrol (kendali) *Discharging*

Tujuan utama dari BMS adalah untuk menjaga baterai dari operasi dan zona keamanannya agar tetap seimbang. BMS harus melindungi setiap sel dari kemungkinan kerusakan selama pemakaian. Jika tidak, sel dapat beroperasi di luar batas.



Gambar 2.2 kondisi tidak seimbangnnya baterai setiap sel
(www.engineering.com)

2) Kontrol (kendali) *charging*

Baterai lebih sering rusak akibat pengisian yang tidak merata seperti pada Gambar 2.2 daripada penyebab lainnya. Oleh karena itu, *charging control* menjadi fitur penting dari BMS. Untuk baterai Li Ion atau LifePO4 dengan 2 tahap metode pengisian yang biasa disebut “arus konstan - tegangan konstan” (CC-CV).

Metode yang digunakan pada tahap pengisian yang pertama (tahap arus konstan) adalah pengisian dengan cara meningkatkan tegangan baterai. Ketika tegangan baterai mencapai nilai tertentu dan baterai

menjadi hampir penuh, baterai akan memasuki tahap tegangan konstan (CV). Pada tahap ini, pengisian daya akan mempertahankan tegangan agar tetap konstan.

Battery management system yang kita gunakan menggunakan tipe tegangan konstan (CV), dikarenakan mengikuti dari cara kerja motor yang membutuhkan tegangan yang konstan untuk bekerja.

3) Menentukan *State Of Charge* (SOC)

Salah satu fitur dari BMS adalah untuk mengetahui kondisi pengisian SOC dari baterai. SOC dapat diketahui dari sinyal dan dapat mengontrol proses pengisian dan pemakaian. Ada tiga metode untuk menentukan SOC: melalui pengukuran langsung, melalui perhitungan muatan (coulomb) dan melalui kombinasi dari dua teknik tersebut. Untuk mengukur SOC secara langsung, hanya bisa menggunakan voltmeter seperti pada ambar 2.3 karena tegangan baterai menurun kurang lebih linear selama siklus pemakaian baterai.

Dalam metode menghitung coulomb saat ini jumlah nilai masuk atau keluar dari baterai itu sendiri terintegrasi untuk menghasilkan nilai relatif sendirinya. Hal ini mirip dengan menghitung Mata uang masuk dan keluar dari rekening bank.

Selain itu, kedua metode dapat dikombinasikan. Voltmeter dapat digunakan untuk memantau tegangan

baterai dan mengkalibrasi SOC

[3] .

V open circuit	
24-V bank	charge
25.46	100%
25.24	90%
25.00	80%
24.74	70%
24.48	60%
24.20	50%
23.92	40%
23.62	30%
23.32	20%
23.02	10%

Gambar 2.3 Kondisi tegangan baterai berdasarkan kondisi baterai
(*Sumber* : [www. BatteryLifePo4.com](http://www.BatteryLifePo4.com))

4) Menentukan *state of health* (SOH)

State of Health adalah pengukuran yang menggambarkan kondisi umum dari baterai dan kemampuannya untuk bekerja pada gambar 2.3 ditunjukkan kondisi baterai terhadap tegangan. Parameter seperti impedansi setiap sel atau konduktansi yang berubah secara signifikan dengan usia dapat digunakan untuk menunjukkan nilai SOH sel tersebut ^[3].

5) *Cell Balancing* (menseimbangkan sel)

Sel *balancing* adalah metode kompensasi sel dengan menyamakan nilai pada semua sel dalam sistem untuk memperpanjang masa pakai baterai secara keseluruhan. Dalam sistem baterai multi-sel, perbedaan kecil antara sel-sel karena toleransi produksi atau kondisi operasi cenderung semakin besar dengan setiap siklus *charge-discharge*.

Selama pengisian, sel-sel yang lemah mungkin tertekan dan menjadi lebih lemah sampai mereka akhirnya gagal, menyebabkan baterai gagal atau rusak.

Untuk memberikan solusi atas masalah ini dengan memperhitungkan usia dan kondisi sel saat operasi, BMS dapat menggabungkan salah satu dari tiga skema *balancing* untuk menyamakan sel dan mencegah setiap sel dari kerusakan, skema tersebut

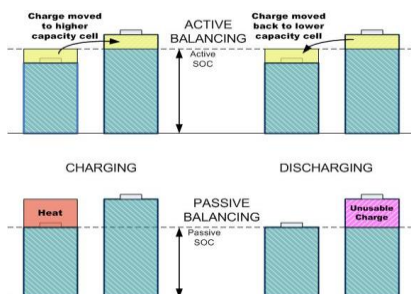
adalah : skema *balancing* aktif, skema *balancing* pasif dan skema shunting.

Skema sel *balancing* aktif adalah skema dengan muatan dari sel-sel yang lebih kuat akan dihapus dan dikirim ke sel lemah seperti pada gambar 2.4.

Dalam *balancing* pasif adalah skema dengan menggunakan teknik disipatif yang digunakan untuk menemukan sel-sel dengan nilai tertinggi dalam kemasan, seperti ditunjukkan oleh tegangan sel yang lebih tinggi. Kemudian, kelebihan energi akan dikurangi melalui resistor untuk memotong nilai tegangan tertinggi sampai tegangan sesuai dengan tegangan pada sel lemah.

Skema *shunting* adalah tegangan pada semua sel akan diratakan ke atas untuk tegangan dari sel yang baik. Setelah tegangan sel tercapai, arus akan melewati sel terisi penuh untuk mengisi sel-sel yang memiliki nilai yang rendah sampai mereka mencapai tegangan penuh^[3].

Catatan : fungsi SOH relatif terhadap kondisi baterai baru, sistem pengukuran harus memegang catatan kondisi awal atau satu set kondisi standar untuk perbandingan. Sebuah metode alternatif untuk menentukan SOH adalah untuk memperkirakan nilai SOH berdasarkan *history* penggunaan baterai dengan parameter terukur tertentu, seperti jumlah siklus *charge-discharge* yang diselesaikan oleh baterai. Oleh karena itu, catatan fungsi dari BMS akan merekam data penting seperti sistem *memori card*.



Gambar 2.4 Skema *balancing* aktif dan pasif
([www. BatteryLifePo4.com](http://www.BatteryLifePo4.com))

6) Komunikasi

Fungsi komunikasi dari BMS dapat diberikan dalam bentuk data yang digunakan untuk memonitor kinerja, data log, memberikan diagnosa atau mengatur parameter dari sistem tersebut.

Pilihan komunikasi tidak dapat ditentukan oleh baterai; sebaliknya, itu adalah ditentukan oleh penerapan baterai. BMS yang digunakan dalam kendaraan listrik harus dapat berkomunikasi dengan *controller* dari kendaraan motor listrik untuk memastikan operasi yang tepat.

Ada dua protokol utama yang digunakan oleh BMS yang dapat digunakan untuk berkomunikasi pada kendaraan^[3] :

- melalui bus data atau jaringan area *controller* (CAN) *bus*. Data *bus* termasuk Koneksi RS232 dan EIA-485 (juga disebut koneksi RS485).
- Industri standar untuk *on-board* komunikasi kendaraan adalah bus CAN, yang lebih umum digunakan dalam aplikasi kendaraan.

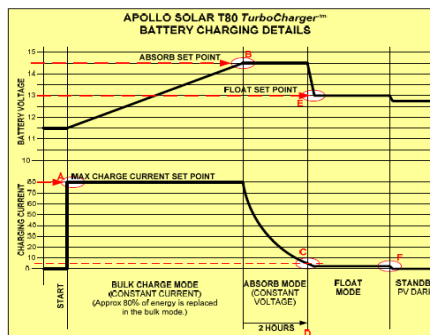
2.2 Maximum Power Point Tracker T80HV

Maximum power point tracker (MPPT T80HV) adalah suatu sistem yang digunakan untuk mencari *point* (titik) maksimum dari tegangan dan arus keluaran pada panel surya. Cara kerja sistem MPPT adalah sebuah *DC-DC*

converter yang telah dioptimalkan untuk menyerap energi maksimum dari *array PV* di baterai sistem surya listrik berbasis dengan pelacakan titik maksimum. Tujuan kedua *controller* adalah untuk memastikan bahwa baterai dapat menerima muatan penuh tanpa terjadi pengisian berlebihan.

keadaan *charge* (SOC) dari listrik yang dihasilkan oleh sel surya yang masuk ke *DC-DC converter* memungkinkan fitur ini untuk dapat menerima konfigurasi berbagai masukan dan tegangan baterai. Baterai dapat dikonfigurasi 12-48 Vdc nominal (12, 24, 36, dan 48).

Fitur ini memungkinkan perancang dapat menentukan tegangan berapa yang ingin dihasilkan dari output tersebut dan dapat men *setting* metode *charging* dan *discharging* sesuai dengan kebutuhan. Untuk T80HV *array PV* dapat ditransfer hingga 160 VDC nominal, T80HV mati secara otomatis jika tegangan diatas 180 Voc^[5].



Gambar 2.5 Grafik Metode *Charging* dan *Discharging*
(Sumber : Appolo Solar T80HV)

Pada gambar 2.5 rafik *charging* dan *discharging* terdapat beberapa mode yaitu :

Bulk: Dalam *Mode Bulk*, *Controller* sedang mencoba untuk mendapatkan tegangan baterai hingga Pengaturan (*setting*) terhadap tegangan.(B). pada Grafik Ini akan semua daya dari panel hanya dibatasi oleh pengaturan nilai maksimum (A). Ketika nilai tegangan telah tercapai pada baterai, *switch charger* akan merubah untuk kembali ke *Mode absorp*.

Absorp : Dalam mode ini *Charger* hanya akan memasok cukup arus untuk menjaga tegangan yang diserap sesuai pengaturan. Arus secara bertahap akan berkurang dari waktu ke waktu dengan beban konstan tetapi dapat bervariasi akibat beban luar. *charger* tetap dapat menyerap daya sampai *Timer* menghitung mundur ke 0. *mode bulk* saat itu bisa saja memiliki waktu yang lebih pendek. *Timer* secara otomatis ditanggihkan jika terjadi drop voltage 1 V di bawah Pengaturan Tegangan *absorp* akibat pembebanan. Ketika *Timer* menghitung mundur ke 0 maka *Charger* masuk ke dalam mode float (D). Pada titik ini, arus minimum akan ditampilkan (C) *Charger*, kecuali saat membutuhkan pembebanan lebih.

Float : Ketika beralih pertama kali menggunakan mode ini maka *Charger* mungkin mengalami periode singkat kondisi 0 Amps output. Hal ini terjadi karena Tegangan *Absorp* biasanya diatur lebih tinggi dari tegangan *Float* dan kontroler tersebut menunggu sampai tegangan baterai *drop*. Dalam mode ini *Charger* akan memasok cukup arus (F) untuk mempertahankan pengaturan tegangan *float* (E). arus

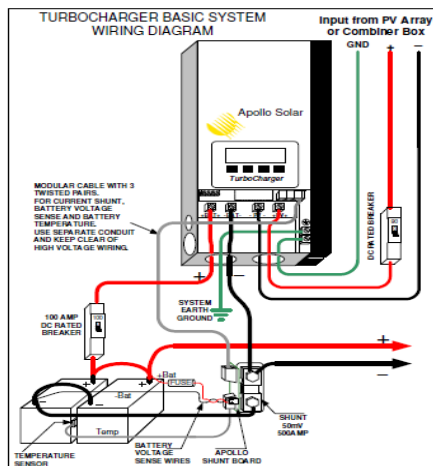
yang diperlukan untuk menjaga baterai pada tegangan ini biasanya cukup

kecil tapi karena beban yang diterapkan saat ini akan naik maka hal tersebut sangat wajar untuk mencoba untuk menjaga tegangan sesuai parameter *setting*.

Standby: *Charger* akan masuk ke mode *standby* setiap kali input dari sel surya kurang dari Tegangan Baterai pada output + 10%. Contoh: Jika Tegangan baterai = 49.0V maka tegangan sel surya harus setidaknya 53.9V atau unit akan menghentikan pengisian dan masuk ke *Standby Mode* ^[5], proses instalasi dilakukan seperti pada gambar 2.6.

2.3

Wiring Diagram MPPT T80 HV



Gambar 2.6 *Wiring Diagram Multi line MPPT T80 HV*
(Sumber : Appolo Solar T80HV)

2.4 Sel Surya

Sel surya (*solar cell*) adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek sel surya ini ditemukan oleh Antoine-Cesar Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 ditemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis p-n *junction* dengan efisiensi 6% mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan efisiensi laboratorium dan komersil berturut-turut yaitu 24,7% dan 15% ^[6].

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kelemahan Sistem Konversi Energi Surya

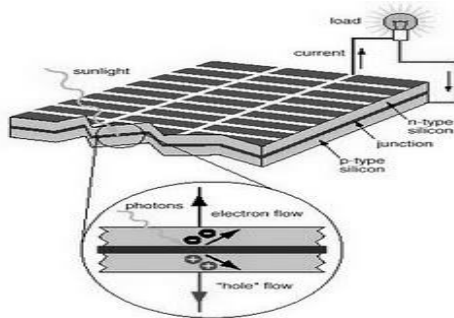
Kelebihan	Kelemahan
Modul solar langsung mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik searah tanpa bahan bakar.	Biaya investasi awal yang tinggi

Proses konversi tidak menimbulkan kebisingan, gas buang, limbah.	Memerlukan baterai sebagai media penyimpan listrik.
Pemeliharaan sederhana dibanding sistem konvensional. Karena dalam proses tidak ada bagian yang bergerak.	Pemeliharaan baterai harus rutin karena keandalan sistem ditentukan oleh kondisi baterai.
Untuk beban yang kecil mempunyai ke cenderung makin ekonomis.	Alat-alat yang diopersikan pada tegangan rendah terbatas.
Dapat diaplikasikan langsung pada alat-alat praktis.	Teknisi yang terlatih untuk perencanaan dan pemasangan sistem konversi energi surya masih sangat sedikit.
Instalasi sistem lebih aman karena tegangan rendah.	

2.5 Prinsip Kerja Solar Cell

Photovoltaic (PV) *cells* terbuat dari material khusus yang disebut *semiconductor*. Pada dasarnya ketika cahaya matahari mengenai sel, maka sebagian dari cahaya tersebut diserap oleh bahan semikonduktor tersebut. Energi yang diserap tersebut membuat elektron menjadi menjauh dan menyebabkan elektron menjadi bebas bergerak. PV *cells* juga mempunyai satu atau lebih meddan listrik yang memaksa elektron untuk bergerak dengan arah tertentu.

Seperti pada gambar 2.7 Energi listrik yang dihasilkan oleh satu sel surya sangat kecil, maka beberapa sel surya harus digabungkan sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut *module*.



Gambar 2.7 Cara Kerja Sel Surya
(Alamanda,2005)

Secara sederhana, proses pembentukan gaya gerak listrik (GGL) pada sebuah sel surya (PV cells) seperti pada gambar 2.8 adalah sebagai berikut :

1. Ketika panel surya terkena foton dari cahaya matahari kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon.
2. Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik.
3. Muatan positif yang disebut *hole* (lubang) mengalir dengan arah yang berlawanan dengan elektron pada panel surya.
4. Gabungan atau susunan beberapa panel surya mengubah energi surya menjadi sumber daya listrik DC

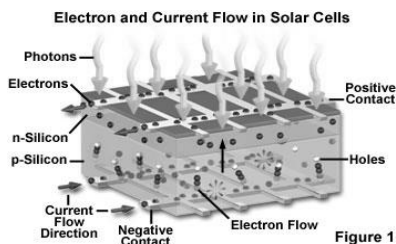


Figure 1

Gambar 2.8 Aliran listrik dan elektron pada sel
(Wiranto Arismunandar, 1985)

2.6 Perkembangan Solar Cell

Pengembangan sel surya silikon secara individu :

2.6.1 Mono-crystalline (Si)

Dibuat dari silikon tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang *Mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%. Merupakan panel yang paling menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan ^[6].

2.6.2 Poly-crystalline/Multi-crystalline (Si)

Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel surya ini kurang efektif, karena efisiensi yang dihasilkan 18%, tetapi biaya lebih murah.

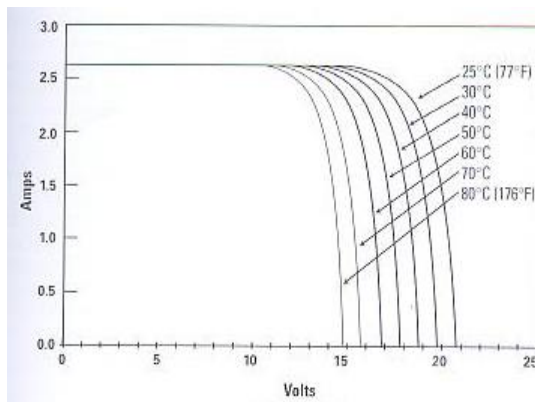
Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe *Poly-crystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *Mono-crystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung ^[6].

2.7 Mengenal Performasi Panel Surya

Sebuah sel surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi foton) tidak tergantung pada

besaran luas bidang silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 Volt sampai disebut “ 1 Sun” akan menghasilkan arus listrik sekitar 30 mA/cm² per sel surya.

Pada Grafik I-V pada gambar 2.9 kurva dibawah yang menggambarkan keadaan sebuah sel surya beroperasi secara normal. Sel surya akan menghasilkan energi maksimum jika nilai Vmp dan Imp juga maksimum. Sedangkan Isc adalah arus listrik maksimum pada nilai volt = nol, Isc berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. Vsc adalah volt maksimum pada nilai arus nol, Vsc naik secara logaritmis dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan sel surya untuk mengisi baterai.



Gambar 2.9 Grafik I-V Kurva

(Amien Rahardjo, Herlina dan Husni Safruddin, 2008)

Isc = Short-circuit current

Imp = Current maximum power

Voc = Open-circuit voltage

Vmp.Imp = Power maximum-output dari array

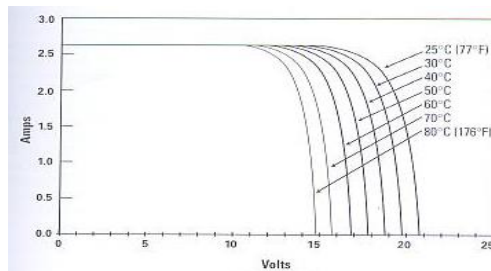
Vmp = Voltage maximum power

2.8 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian maksimum sel surya pada gambar 2.10 sangat tergantung pada :

2.8.1 Suhu

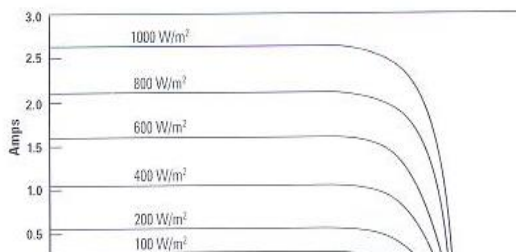
Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika suhu sel surya tetap normal seperti pada gambar 2.10, yaitu suhu 25°C, kenaikan suhu lebih tinggi dari suhu normal pada sel surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Setiap kenaikan suhu sel surya 1°C dari 25°C akan berkurang sekitar 0.4% [6].



Gambar 2.10 Efek Suhu pada Tegangan (V)
(Amien Rahardjo, Herlina dan Husni Safruddin, 2008)

2.8.2 Radiasi Solar Matahari (*insolation*).

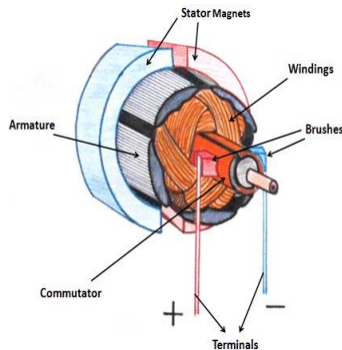
Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi seperti pada gambar 2.11. Radiasi matahari akan banyak berpengaruh pada arus.



Gambar 2.11 Intensitas matahari terhadap arus (I)
(Amien Rahardjo, Herlina dan Husni Safruddin, 2008)

2.9 Motor DC

Motor DC adalah sebuah peralatan listrik yang dapat merubah energi listrik menjadi energi mekanik seperti pada gambar 2.12. Motor DC juga disebut atau sama dengan motor arus searah. Selain memiliki jenis yang beragam antara lain tipe magnet tetap dan elektromagnet (seri, shunt, atau jenis magnet compound).



Gambar 2.12 Bagian – Bagian motor DC
(Sumber: *Clean Green Renewable Energy*)

Bagian – bagian utama motor DC :

1. Kutub Magnet
2. Jangkar (Armatur)
3. Komutator
4. Sikat Karbon

5. Kumparan Jangkar
6. Kumparan Medan

$$\text{Ggl : } E = \frac{p \cdot Z \cdot \emptyset \cdot n}{60 \cdot b}$$

Keterangan :

P = Jumlah kutub

Z = Jumlah konduktor pada jangkar

\emptyset = fluksi (*weber*)

n = Kecepatan jangkar (Rpm)

b = jumlah alur parallel melalui jangkar

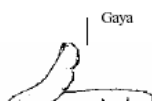
2.10 Prinsip kerja motor DC

Mesin DC mempunyai prinsip dasar yang sama dengan mesin arus bolak balik. Bedanya, pada mesin DC memiliki komutator yang mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah.

Motor DC akan berfungsi jika terdapat komponen komponen seperti di bawah ini

1. Kumparan medan yang nantinya akan menghasilkan medan magnet.
2. Kumparan jangkar untuk mengimbaskan ggl induksi pada konduktor yang terletak pada alur alur jangkar.
3. Celah udara yang memungkinkan berputarnya jangkar pada medan magnet.

Motor listrik arus searah merupakan suatu alat yang berfungsi mengubah daya listrik arus searah menjadi daya mekanik. Motor listrik arus searah mempunyai prinsip kerja berdasarkan percobaan Lorents yang menyatakan. “Jika sebatang penghantar listrik yang berarus berada di dalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk suatu gaya”. Gaya yang terbentuk sering dinamakan gaya Lorents. Untuk menentukan arah gaya dapat digunakan



kaidah tangan kiri Flemming atau kaidah telapak tangan kiri. gambar 2.13 melukiskan konstruksi kaidah tangan kiri Flemming.

Gambar 2.13 kaidah tangan kiri DC
(Sumber: Clean Green Renewable Energy)

Pada motor DC, kumparan medan yang berbentuk kutub sepatu merupakan bagian yang tidak berputar (stator) dan kumparan jangkar merupakan bagian yang berputar (rotor). Tahanan medan lebih besar dari tahanan jangkar karena pada tahanan medan kumparannya lebih panjang dan lebih kompleks dari tahanan jangkar. Perubahan energi yang terjadi pada mesin DC adalah energi listrik menjadi energi mekanik. Tegangan (V_t) menjadi sumber dan tegangan jangkar E_a merupakan tegangan lawan, sehingga mesin arus searah ini akan berlaku sebagai motor ^[6].

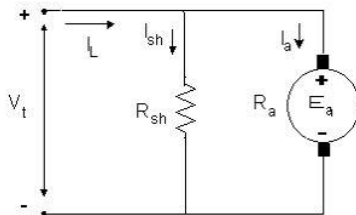
2.11 Jenis-jenis motor DC

Berdasarkan sumber arus penguat magnetnya, motor DC dapat dibedakan atas:

- 1) Motor DC penguat terpisah , yaitu motor DC yang menggunakan arus penguat magnet yang diperoleh dari sumber arus searah di luar motor.
- 2) Motor DC pengiat sendiri, yaitu motor DC yang menggunakan arus penguat magnet berasal dari motor Dc itu sendiri.

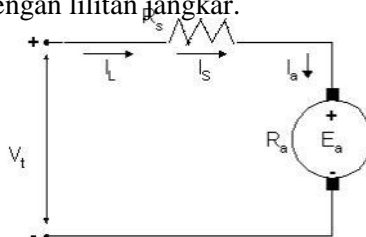
Berdasarkan hubungan lilitan penguat magnet terhadap lilitan jangkar motor arus searah dengan penguat sendiri dapat dibedakan ^[7] :

Motor DC Shunt : motor DC yang menggunakan kumparan penguat yang disambungkan paralel (shunt) dengan lilitan jangkar



Gambar 2.14 Deskripsi rangkaian motor DC Shunt
(B.L Theraja Electrical Technology)

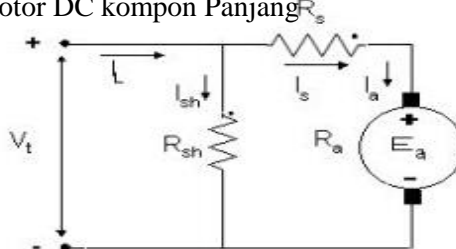
Motor DC seri : motor DC seperti pada gambar 2.14 menggunakan lilitan penguat magnet yang dihubungkan seri dengan lilitan jangkar.



Gambar 2.15 Deskripsi rangkaian motor DC Seri
(B.L Theraja Electrical Technology)

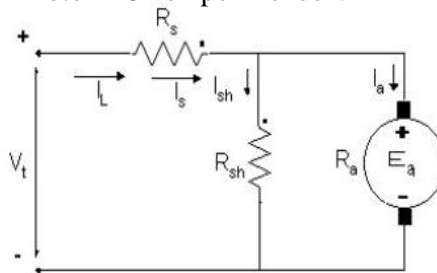
Motor DC kompon : Motor DC seperti pada gambar 2.15 menggunakan lilitan penguat magnet yang disambungkan seri dan paralel.

a) Motor DC kompon Panjang



Gambar 2.16 Rangkaian motor DC Kompon panjang
(B.L Theraja Electrical Technology)

b) Motor DC kompon Pendek.



Gambar 2.17 Rangkaian motor DC Kompon pendek

2.12 Keuntungan motor DC adalah :

- 1) Motor DC mempunyai karakteristik kopel kecepatan yang menguntungkan dibandingkan motor lainnya.
- 2) Kecepatan mudah diatur

Pada prinsipnya mesin listrik dapat berlaku sebagai motor maupun sebagai generator. Perbedaannya hanya terletak pada konversi dayanya. Generator adalah mesin listrik yang mengubah daya masuk mekanik menjadi daya keluar listrik, sedangkan sebaliknya motor mengubah daya masuk listrik menjadi daya keluar mekanik ^[7] :

Berdasarkan teori elektromagnetik dapat diturunkan 3 rumus dasar untuk mesin arus searah ini yaitu :

1. Tegangan induksi

$$E_a = C n \Phi \text{ (Volt)}$$

Dimana Φ = fluks (weber / N.m²)

N = Putaran mesin (Rpm)

$C = P/a \times Z/60$ = Konstanta

p = Jumlah kutub

a = Jalur Paralel konduktor jangkar.

Z = Jumlah konduktor jangkar

2. Kecepatan

Dasar pemikiran dari pengaturan kecepatan pada motor DC adalah:

$$E_a = C n \Phi$$

$$E_a = V_t - I_a R_a$$

$$C n \Phi = V_t - I_a R_a$$

Maka putaran motor DC ini dapat diatur dengan

$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{C \Phi}$$

Dimana :

n = putaran (rpm)

Φ = Flux yang timbul (weber / N.m²)

V_t = tegangan terminal (Volt)

I_a = Arus jangkar (Ampere)

R_a = Tahanan Jangkar (ohm)

E_a = Tegangan balik yang bangkit dikumparkan jangkar (Volt)

3. Kopel elektromagnetik

$$T = C \cdot I_a \cdot \Phi$$

I_a = arus jangkar (Ampere)

Φ = Flux yang timbul (weber / N.m²)

$C = P/a \times Z/60 = \text{Konstanta}$

Kopel elektromagnetik ini tidak sama dengan kopel yang terdapat padasumbu. Dengan mengurangi kopel geser barulah dapat didapat harga kopel pada sumbu. Hubungan lain antara kopel elektromagnetik dengan daya mekanik yaitu

Dimana :

$E_a \cdot I_a = T \cdot W_m$

I_a = Arus jangkar

$W_m = 2 \pi n / 60$;

n = putaran per sekon

T = Momen kopel

4. Karakteristik kecepatan kopel

Untuk motor arus searah berlaku hubungan :

$V_t = E_a + I_a \cdot R_a$

$E_a = C n \Phi$ Volt $N = (V_t - I_a R_a) / C \Phi$

V_t = tegangan terminal (volt)

E_a = tegangan pada kumparan jangkar (volt)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{E_{a2} \cdot \phi_1}{E_{a1} \cdot \phi_2}$$

I_a = arus jangkar (Ampere)

R_a = tahanan jangkar (ohm)

C = konstanta

n = putaran per sekon (rps)

Φ = Flux yang timbul (weber / N.m²)

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa apabila arus jangkar (I_a) bertambah besar maka putaran (n) akan turun.

Pada motor seri, bertambahnya arus akan menyebabkan pula bertambahnya fluks (Φ), karena fluks merupakan fungsi arus jangkar (I_a). Dari rangkaian motor seri terlihat bahwa apabila arus jangkar mendekati nol, maka putaran motor akan mendekati tak terhingga. Sedangkan apabila arus jangkar sangat besar, maka putarannya akan mendekati nol^[7].

5. Rugi dan Efisiensi dalam motor arus searah

Pada motor searah terdapat rugi / losses yaitu :

1. Rugi listrik

Rugi ini diakibatkan oleh pemakaian konduktor tembaga. Rugi mekanis dapat dihitung dengan rumusan :

$$Rugi = I^2 \cdot R \quad ; R = \text{tahanan konduktor (ohm)}$$

$$I = \text{Arus listrik (Ampere)}$$

2. Rugi besi

Diakibatkan oleh pemakaian besi ferromagnetik. Terdiri dari rugi histeris dan rugi arus eddy. Rugi ini bersifat konstan, sehingga tidak dapat mengetahui berapa besarnya^[7].

3. Rugi mekanik

Rugi mekanis terdiri dari rugi geser pada sikat, rugi geser pada sumbu, dan rugi angin. Seperti pada rugi besi, rugi mekanis juga bersifat konstan sehingga besarnya rugi mekanis tidak dapat diketahui^[7].

Pada saat tidak berbeban (beban = 0) maka tidak ada faktor daya luar yang menghambat daya input.

$$\begin{aligned} P_{\text{input}} &= P_{\text{luar}} + \sum \text{Losses} \\ &= 0 + \sum \text{Losses} \end{aligned}$$

$$V_t \cdot I_m = \text{Rugi tembaga} + \text{Rugi}$$

Dan Rugi terbagi atas rugi besi + rugi mekanis. Karena P_{input} dan rugi tembaga dapat dihitung, maka besarnya rugi

tetap dapat diketahui. Saat motor DC berbeban, karena P_{input} dan rugi tembaga dapat dihitung dengan rugi besi dan mekanis yang sudah diketahui besarnya, maka efisiensi dan P_{luar} , dan torsi dapat dihitung dengan rumusan :

$$\eta = \frac{P_{luar}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$Torsi = \frac{P_{sh}}{2\pi n} = \frac{E_a I_a}{2\pi n}$$

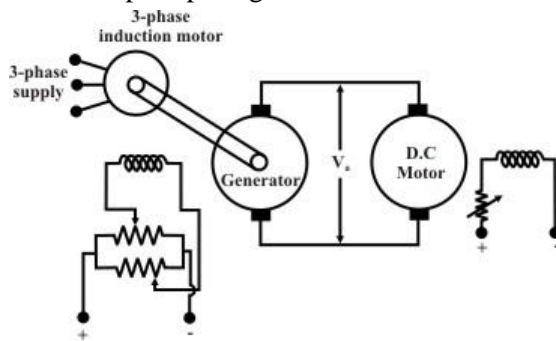
2.13 Speed Control Motor DC

1. Metode Ward Leonard

Dalam skema ini, baik dalam control medan dan kontrol jangkar terintegrasi seperti pada gambar 2.19. Pengaturan untuk kontrol medan agak sederhana. Dengan cara menghubungkan rheostat pada medan. Namun, di era elektronik, mendapatkan sumber variabel dc itu tidak mudah dan dc generator dirangkai dengan eksitasi terpisah digunakan untuk memasok ke jangkar dari motor. Jelas untuk menjalankan generator ini, penggerak utama diperlukan. Dengan mengontrol arus medan dari generator yang disuplai dari jangkar motor maka gaya gerak listrik dapat dihasilkan, dan tegangan dapat divariasikan. pembagi menggunakan dua rheostats secara paralel untuk memfasilitasi pembalikan dari arus medan generator.

Pertama motor induksi dimulai dengan arus medan nol (dengan menyesuaikan posisi dari rheostats). Sumber tegangan pada motor diaktifkan mode on dengan arus medan pada rheostat diatur ke nol. Tegangan yang diterapkan untuk motor sekarang dapat secara bertahap meningkatkan dengan perlahan arus medan generator. Dalam skema ini, bukan starter diperlukan untuk motor dc sebagai penghasil tegangan

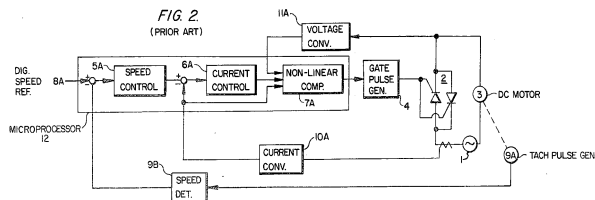
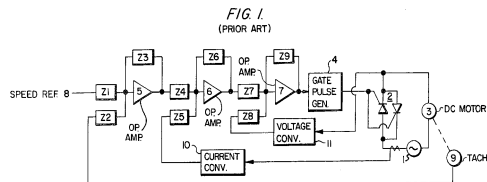
yang diberikan ke jangkar untuk dapat meningkat secara bertahap. Untuk dapat mengontrol kecepatan motor dc didasari oleh tegangan jangkar, eksitasi generator dc yang divariasikan, sedangkan untuk mengontrol kecepatan maka motor dc divariasikan arus nya untuk mempertahankan tegangan konstan. Pembalikan arah putaran motor dapat diperoleh dengan menyesuaikan posisi dari rheostats pada generator medan seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Metode *speed control ward leonard*
(Sumber : Version 2 EE IIT, Kharagpur)

Namun untuk penggunaan metode ward leonard saat ini telah menggunakan *digitalize ward leonard system* dengan *thyristor bridge* menggantikan fungsi dari generator^[4], terkait penggunaan motor dc untuk *digitalized ward leonard* tidak dijelaskan secara detail oleh builder torqeedo namun untuk

rang
kaia
nnya
dapa
t
dilih
at
pada



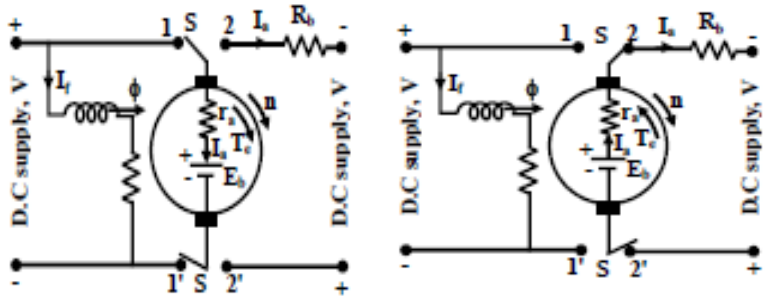
gambar 2.18.

Gambar 2.19 *Digitilazed Speed Control thyristor bridge*
(Sumber : Version 2 EE IIT, Kharagpur)

Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa fungsi dari generator digantikan oleh jembatan thyristor, jadi dapat menghemat ruangan pada konstruksi motor dc dengan sistem *digitalized ward leonard*.

2.14 Braking System (sistem pengereman) Counter Current Plugging.

Metode ini dapat dipahami menurut gambar 2.20 dimana S adalah kutub ganda dgn double switch, untuk biasanya mode S digunakan pada posisi 1 dan 1'. Melewati terminal 2 dan 2'. Kombinasi seri tahanan luar R_b dan sumber tegangan dengan polaritas menyatakan dapat terhubung. Meskipun itu sepanjang motor pada posisi 0 atau tidak pada kutub, maka motor tidak akan bekerja.

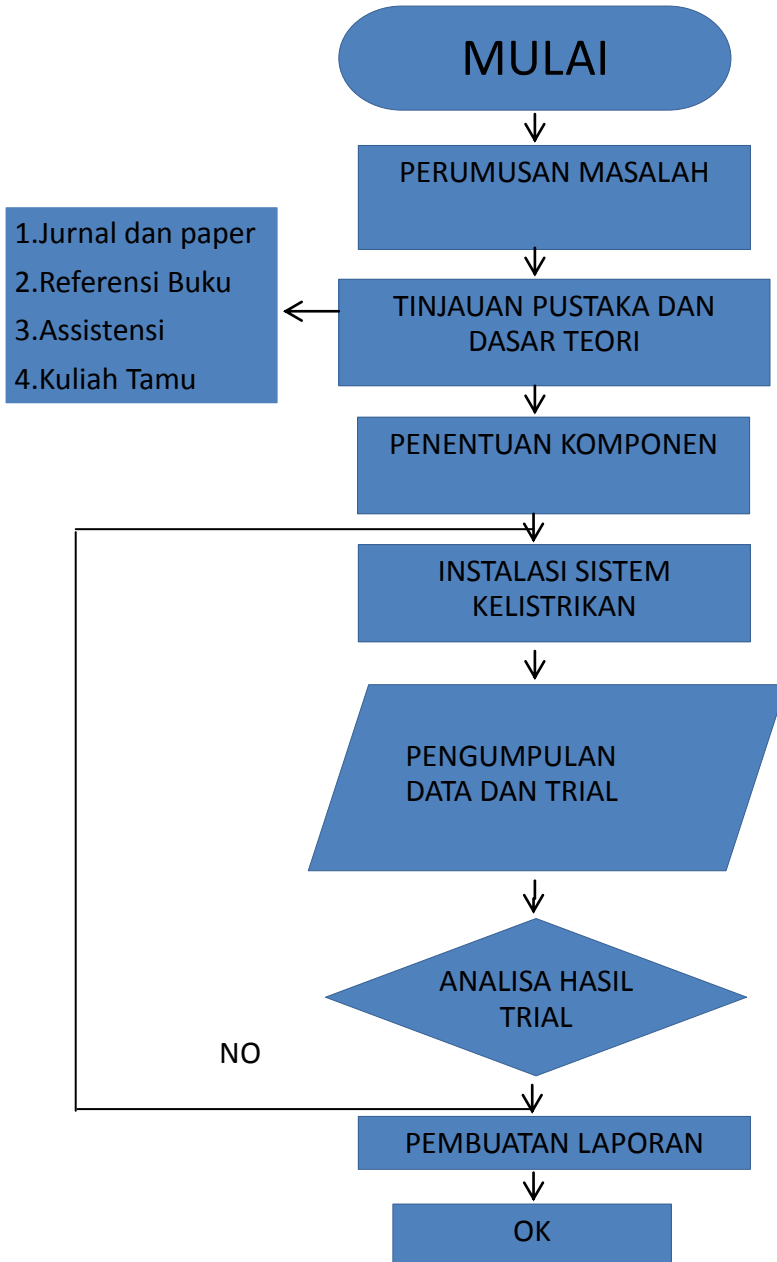


Gambar 2.20 Motor bekerja ke kanan dan kiri

Sekarang, jika S berada di posisi 2 maka jangkar akan terputus dari sumber dan menuju rangkaian melewati R_b dengan medan energy dari sumber lainnya.

“halaman sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah adalah masalah-masalah yang dikumpulkan dan dijadikan bahan evaluasi ilmiah pada kegiatan sebelumnya, jika sebelumnya Jalapatih 1 memiliki permasalahan pada sistem kelistrikan disini Jalapatih 2 menyempurnakan sistem kelistrikan sebelumnya disertai analisa dan teori dan melihat perubahan yang terjadi dengan pembuktian aktual.

3.2 Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Tinjauan pustaka digunakan sebagai landasan dan acuan terhadap data-data yang dibutuhkan dalam proses pembuatan Jalapatih 2. Kegiatan ini berguna agar penulis mendapatkan data-data penunjang dan cara kerja suatu sistem secara lebih spesifik dan akurat serta mencatat hal-hal penting dari suatu fenomena untuk melengkapi data sebagai bahan acuan perencanaan sistem kelistrikan maupun pembuatan laporan tugas akhir.

Disamping itu penulis juga mencari dan mengumpulkan berbagai literatur atau buku-buku serta jurnal sebagai bahan acuan ladasan teori, untuk melengkapi infromasi dari *product maker* yang dapat memperkuat teori-teori yang berhubungan langsung dengan pembuatan serta pembahasan dalam pembuatan laporan ini, sehingga hal-hal yang ditulis ataupun yang diungkapkan mempunyai sumber yang dapat dipertanggung jawabkan.

3.3 Penentuan Komponen

Dalam pemilihan komponen pada Jalapatih 2, harus dicermati dalam berbagai aspek dan perencanaan yang cermat, pada kelistrikan Jalapatih 2 pemilihan komponen harus mengikuti *rule* yang telah ditetapkan panitia lomba,

seperti *fuse*, kabel, kapasitas baterai serta sel surya. namun dari peserta dapat bervariasi sistem elektronik dan tenaga sesuai perencanaan dan kreatifitas partisipan.

Faktor yang dapat dijadikan acuan dalam penentuan komponen adalah *rule* yang digunakan oleh panitia terkait komponen kapal.

3.4 Instalasi Sistem kelistrikan

Pada tahap instalasi sistem kelistrikan dasar dari *drawing* dan perencanaan yang telah direncanakan dari layout serta sistem kelistrikan harus sesuai, pada instalasi ini sebelumnya telah disimulasikan pada *software* dan telah diuji secara sistem sebelum *assembling* di kapal guna menghindari *failure* serta kerusakan saat *running*.

3.5 Pengumpulan data dan trial

Pengumpulan data hasil evaluasi dari *trial* nantinya akan sangat diperlukan guna mengetahui karakteristik sistem kelistrikan dengan dan tanpa *battery management system* dan *MPPT*, hasil dari data tersebut meliputi tegangan, arus, daya dan kecepatan pada kapal.

Hasil dari data ini selanjutnya akan dianalisa guna menentukan tindakan yang akan dilanjutkan setelah evaluasi.

3.6 Analisa hasil trial

Analisa hasil trial adalah rangkuman data yang telah dihimpun saat trial dengan kondisi aktual untuk dibandingkan dengan target dan teori.

Hasil dari analisa trial tersebut akan dikembangkan menjadi *improvement* atau reparasi pada sistem kelistrikan sebelumnya, verifikasi data terhadap hasil analisa *trial* adalah apakah kapal tersebut dapat sesuai dengan yang direncanakan

terutama dari segi kecepatan dan sistem kelistrikan yang meliputi state of charge pada baterai, tegangan output baterai, arus output baterai dan daya pada baterai terhadap kinerja motor jika menggunakan *battery management system* dan *MPPT* dan melihat pengaruhnya terhadap proses stabilitas tegangan serta daya motor.

3.7 Pembuatan Laporan

Proses pembuatan laporan dilakukan dengan kaidah kaidah penelitian pada metodologi penelitian baik itu secara bahasa, format atau struktur pada dokumen ilmiah.

Pada bab 1 penulis mengangkat tema pengaruh penggunaan *battery management system* dan MPPT

Pada bab 2 membahas cara kerja masing-masing setiap komponen yang digunakan di kapal berdasarkan literatur dan referensi yang didapat dari buku dan jurnal ilmiah.

Pada bab 3 membahas bagaimana metodologi penelitian yang digunakan agar hasil yang diinginkan dapat tercapai.

Pada bab 4 penulis lebih dalam membahas analisa data dengan tabel maupun Grafik dari perhitungan yang telah didapatkan dari literatur.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan diuraikan langkah-langkah dalam menentukan BMS, MPPT dan komponen lainnya yang akan digunakan pada *marine solar boat team*, langkah-langkah tersebut didapatkan berdasarkan uraian referensi dan jurnal yang terkait dengan BMS dan MPPT. Data-data yang didapatkan berdasarkan uji coba dan *trial* terhadap komponen berkaitan, data tersebut nantinya akan digunakan untuk analisa lebih lanjut yang menghubungkan fenomena antara hubungan satu dan lainnya secara terkait dan detail.

4.2 Menentukan Fuse dan D.M Switch

Tahapan dalam menentukan *fuse* dan *D.M Switch* dalam penggunaan motor *DC permanent magnet generator* berkaitan dengan kapasitas baterai yang digunakan. Jika baterai yang digunakan berdasarkan rule yang ditetapkan 1500 watt, maka :

$$P = V.I \dots\dots\dots (9)$$

$$I = P / V$$

$$I = 2000 \text{ watt} / 24 \text{ volt}$$

$$I = 83.3 \text{ Amp}$$

Diketahui jumlah arus yang melalui sistem sebesar 83.3 Amp, dikalikan dengan arus start DC dari arus nominal, maka : (9)

$$I_{\text{start}} = I_{\text{nominal}} \times 3 \dots\dots\dots (9)$$

$$\begin{aligned} I_{\text{start}} &= 83.3 \times 3 \\ &= 250 \text{ Amp} \end{aligned}$$

Maka dipilih *fuse* sebesar 300 Amp yang tersedia di pasaran, seperti tertera pada gambar 3.3.



Gambar 4.1 Fuse AMG 300Amp

Dan deadman switch sesuai rule sebesar 300 Amp seperti pada gambar dibawah.



Gambar 4.2 Deadman switch 300 Amp

Berikut ini pada tabel 4.1 Ditemukan hasil untuk arus adalah

Tabel 4.1 Hasil Arus terhadap kecepatan.

Knot	V	I
1	25.6	0.16
2	25.6	1.24
3	25.6	4.19
4	25.6	9.93
5	25.6	19.39
6	25.6	33.5
7	25.6	53.2
8	25.6	79.42
8.12939	25.6	83.33
9	25.6	113.08
10.0	25.6	155.11

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan bahwa untuk *max continuous rating current* didapatkan arus sebesar 83.33 Ampere dengan kecepatan maksimum 8.12 knot.

4.3 Menentukan MPPT dan Solar Cell

untuk proses penentuan dari MPPT, penulis menentukan tegangan yang dihasilkan dari aspek lainnya seperti daya motor, tegangan baterai yang dirangkai secara seri maupun paralel, solar panel dan arus yang dapat dihasilkan, pada Gambar 4.3 dapat terlihat fisik dari MPPT didalam sistem.



Gambar 4.3 MPPT T80HV

Tabel 4.2 Spesifikasi beban dan tegangan MPPT

Load in kWh per day	Battery Voltage	Suggested Inverter Size
Under 2 kWh per day	12 Vdc	Up to 2.5 kW
2 to 6 kWh per day	24 Vdc	2-4 kW
Over 6 kWh per day	48 Vdc	3 kW and larger

Karna motor listrik yang digunakan memiliki spesifikasi 2 Kw, maka MPPT yang digunakan sebesar 24 volt. Dengan sumber yang dirangkai seri, seperti pada tabel 4.2, dengan spesifikasi panel surya seperti pada Gambar 2.3 berikut :

Tabel 4.3 Spesifikasi panel surya

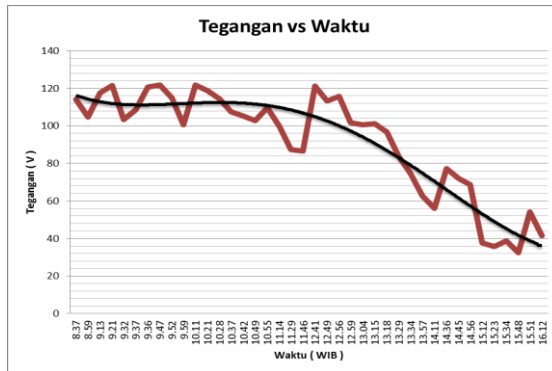
Solar Cell	LEN 200 WP
Output Power	200 WP
Max Power Voltage	37.4 V
Max. Power Current	5.35 A
Open Circuit Voltage	45.5 V
Short Circuit Current	5.8 A
Efficiency	15 %
Size	1580 x 808 x 45
Weight	15 kg



Gambar 4.4 Solar Cell PT.LEN 200Wp

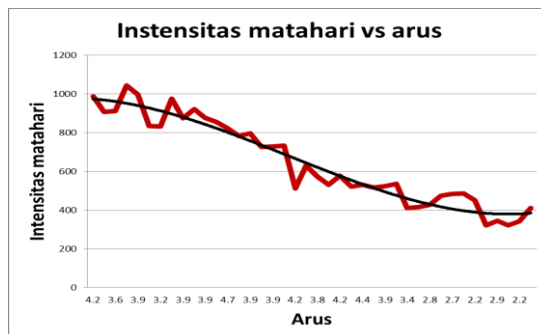
Gambar 4.4 menunjukkan aktifitas trial solar cell dengan variasi beragam sudut dan operasi rangkaian.

Dari pengujian tersebut dapat digambarkan Grafik karakteristik sel surya dengan MPPT, yaitu :



Gambar 4.5 hubungan antara tegangan terhadap waktu.

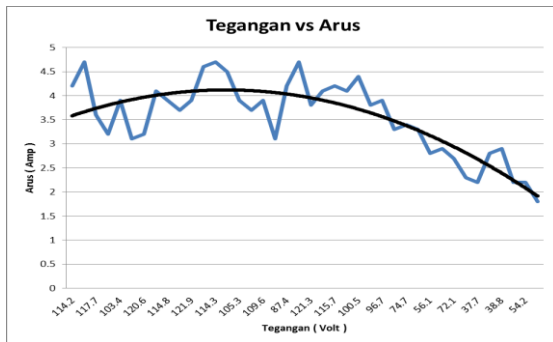
Dari gambar 4.5 Grafik antara tegangan dan waktu didapat kesimpulan bahwa intensitas matahari mencapai puncaknya pada pukul 10.00 wib-11.00 wib dimana tegangan maksimal.



Gambar 4.6 hubungan antara Intensitas terhadap waktu.

Dari gambar 4.6 Grafik antara intensitas matahari dan arus sebanding dan dipengaruhi waktu, jika intensitas matahari

pada sore hari semakin redup maka arus yang dihasilkan semakin kecil.



Gambar 4.7 Hubungan antara tegangan dan arus

Dari gambar 4.7 antara tegangan dan arus memiliki hubungan sebanding mengikuti jumlah intensitas matahari yang diterima solar cell.

4.4 Menentukan Baterai.

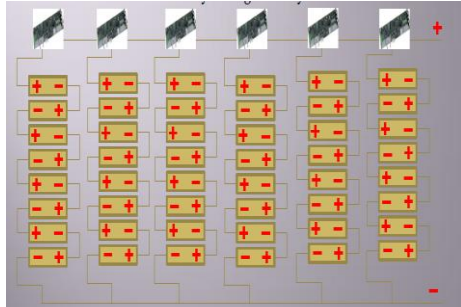
Proses dalam menentukan jumlah dan rangkaian baterai seperti yang tertera pada *rule* perlombaan sebesar 1.5 KW adalah merangkai baterai menggunakan spesifikasi seperti berikut agar didapatkan tegangan 24 V, arus 60 Amp dengan daya 1500 W :

3.2 V, 10 Ah, Max Disch 3

Seri 8 pcs

Paralel 6 pcs

Seperti tertera pada gambar 4.8 dan 4.9 tentang skema dan bentuk rangkaian baterai.



Gambar 4.8 Skema Rangkaian Baterai



Gambar 4.9 Baterai LifePO4

Rangkaian Seri Baterai :

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 \dots (9)$$

$$V_t = 3.2 + 3.2 + 3.2 + 3.2 + 3.2 + 3.2 + 3.2 + 3.2$$

$$V_t = 25.6 \text{ VDC}$$

Rangkaian Paralel baterai

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \dots (9)$$

$$= 10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 10$$

$$= 60 \text{ Amp}$$

Power Baterai

$$P = V \times I \dots (9)$$

$$= 25.6 \times 60$$

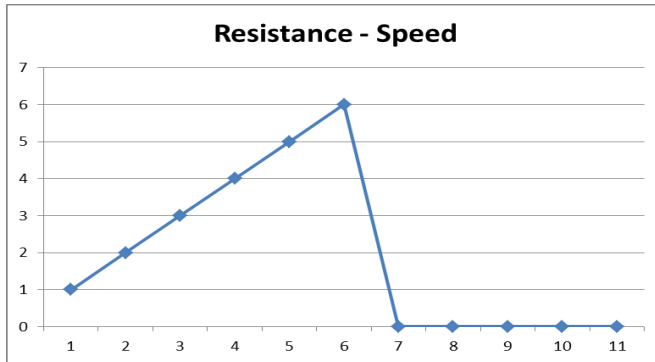
$$= 1520 \text{ watt}$$

Tabel 4.4 Data pengujian Solar Cell dengan MPPT.

No	Jam (WIB)	Data of Trial Solar Cell (series)					Intensitas Matahari (W/m ²)	Intensitas Cahaya (Lux)
		V input	I input	V output	I output	Days (Wp)		
1	8:52	114.2	4.2	25.8	18.59	479.64	987	52900
2	8:59	104.6	4.7	25.8	19.06	491.62	908	61500
3	9:13	117.7	3.6	25.8	16.42	423.72	912	62300
4	9:21	121.6	3.2	25.8	15.08	389.12	1045	65400
5	9:32	103.4	3.9	25.8	15.63	403.26	968	78200
6	9:37	108.7	3.1	25.8	13.06	336.97	834	81900
7	9:36	120.6	3.2	25.8	14.96	385.92	832	97800
8	9:47	121.7	4.1	25.8	19.34	488.97	976	108000
9	9:52	114.8	3.9	25.8	17.35	447.72	876	121000
10	9:59	100.5	3.7	25.8	14.41	371.85	921	132000
11	10:11	121.9	3.9	25.8	18.43	475.41	878	141000
12	10:21	118.8	4.6	25.8	21.18	546.48	856	98000
13	10:28	114.3	4.7	25.8	20.82	537.21	823	87500
14	10:37	107.6	4.5	25.8	18.77	484.20	784	84300
15	10:42	106.3	3.9	25.8	15.92	410.67	798	76000
16	10:49	102.9	3.7	25.8	14.76	380.73	726	72000
17	10:55	109.6	3.9	25.8	16.57	427.44	728	68000
18	11:14	99.9	3.1	25.8	12.00	309.69	734	66500
19	11:29	87.4	4.2	25.8	14.23	367.08	512	52000
20	11:46	86.7	4.7	25.8	15.79	407.49	629	51600
21	12:41	121.3	3.8	25.8	17.87	460.94	574	110000
22	12:49	113.2	4.1	25.8	17.99	464.12	532	84300
23	12:56	115.7	4.2	25.8	18.83	485.94	578	72000
24	12:59	101.7	4.1	25.8	16.16	416.97	521	97800
25	13:04	100.5	4.4	25.8	17.14	442.20	532	68000
26	13:15	101.1	3.8	25.8	14.89	384.18	518	51600
27	13:18	96.7	3.9	25.8	14.62	377.13	523	108000
28	13:29	83.6	3.3	25.8	10.69	275.88	536	98000
29	13:34	74.7	3.4	25.8	9.94	253.98	412	97800
30	13:57	62.8	3.3	25.8	8.03	207.24	417	132000
31	14:11	56.1	2.8	25.8	6.09	157.08	427	65400
32	14:36	77.3	2.9	25.8	8.69	224.17	475	61500
33	14:45	72.1	2.7	25.8	7.55	194.67	484	52900
34	14:56	68.6	2.3	25.8	6.12	157.78	486	72000
35	15:12	37.7	2.2	25.8	3.21	82.94	450	141000
36	15:23	35.6	2.8	25.8	3.86	99.68	321	81900
37	15:34	38.8	2.9	25.8	4.36	112.52	345	65400
38	15:48	32.5	2.2	25.8	2.77	71.50	321	51600
39	15:51	54.2	2.2	25.8	4.62	119.24	344	76000
40	16:12	41.4	1.8	25.8	2.89	74.52	410	52000

4.5 Pengaruh penggunaan MPPT dan BMS.

Pada kapal Jalapatih 1 kekurangan rangkaian ini menyebabkan motor gagal bekerja secara maksimal, dari pengujian tanpa MPPT didapatkan Grafik antara tahanan dan kecepatan :



Gambar 4.10 Hubungan antara tahanan dengan kecepatan tanpa menggunakan MPPT.

Dari gambar 4.10 didapatkan bahwa hubungan antara tahanan dan kecepatan didapatkan hasil yang sebanding namun *drop* karna ada *cut off voltage* pada kecepatan 5-6 knot perhitungan tahanan dilakukan dengan metode Holtrop dengan formula :

$$R_t \text{ (Tahanan Total)} = R_v(1+k) + R_{app} + R_b + R_{tr} + R_w + R_a$$

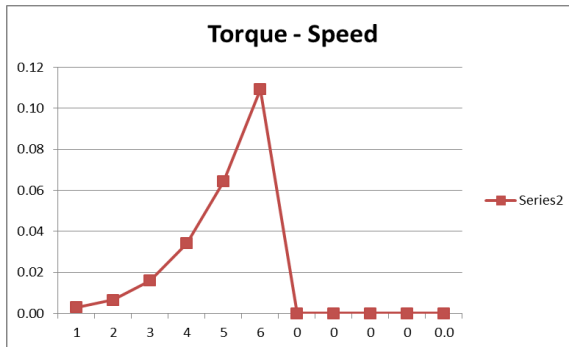
$$R_a \text{ (Tahanan Udara)} = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot c_a \cdot s$$

$$R_w \text{ (Tahanan Gelombang)} = c_1 \times c_2 \times c_5 \times W \times e^{[(m_1 \times F_n^d) + m_2 \times \cos(\lambda F_n^{\wedge} - 2)]}$$

$$R_{tr} \text{ (Tahanan Transom)} = 0,5 \times p \times V^2 \times A_t \times C_6$$

$$R_{app} \text{ (Tahanan Sisa)} = 0,5 \times \rho \times V^2 \times S_{app} \times (1+k_2) \times e_q \times C_f$$

$$R_v \text{ (Tahanan Gesek)} = 0,5 \rho (V^2) C_f (1+k_1) S$$



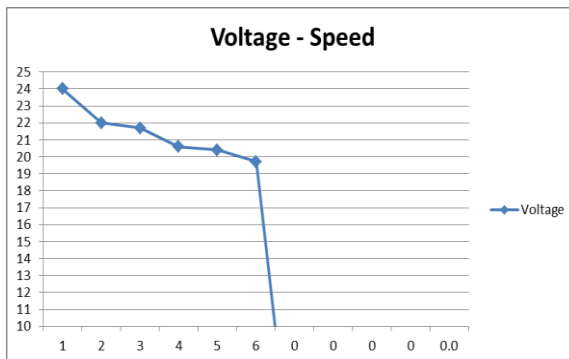
Gambar 4.11 Hubungan antara torsi dengan kecepatan tanpa menggunakan MPPT.

Dari gambar 4.11 didapatkan bahwa hubungan antara torsi dan kecepatan didapatkan hasil yang sebanding namun *drop* karna ada *cut off voltage* pada kecepatan 5-6 knot perhitungan tahanan dilakukan dengan formula :

$$Q \text{ (Torsi)} = \text{DHP} / 2\pi n$$

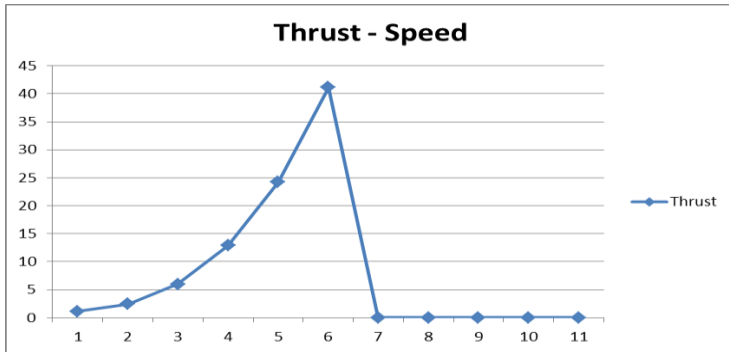
$$\text{DHP (Delivered horse power)} = \text{EHP} / P_c$$

$$\text{EHP (Effective horse power)} = R_t \text{ sr} \times V_s$$



Gambar 4.12 Hubungan antara tegangan dengan kecepatan tanpa menggunakan MPPT.

Dari gambar 4.12 antara tegangan dan kecepatan didapatkan grafik sebanding, nilai-nilai yang didapatkan berdasarkan pengujian motor listrik torqeedo terhadap kapal tanpa MPPT dan BMS.



Gambar 4.13 Hubungan antara daya dorong dengan kecepatan tanpa menggunakan MPPT.

Dari gambar 4.13 didapatkan bahwa hubungan antara *thrust* dan kecepatan didapatkan hasil yang sebanding namun *drop* karna ada *cut off voltage* pada kecepatan 5-6 knot perhitungan tahanan dilakukan dengan formula:

$$\text{THP (Daya dorong kapal)} = T \times V_a$$

$$V_a (\text{Advance Speed}) = (1 - w) \times V$$

Tabel 4.5 Tabel Solar Boat Tanpa MPPT dan BMS.

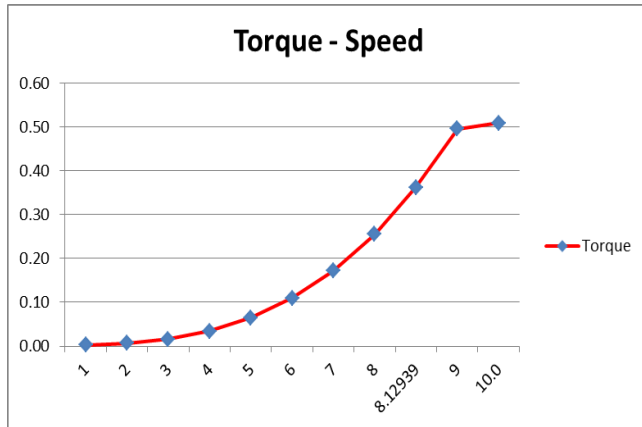
Knot	Vs		Va	Q	n	Thrust	ThP	DHP	Voltage	Arus	Resistance	Power Consumption
	m/s	km/h				Lbs	Watt	Watt	V	I	Rt	Watt
1	0.514	1.85	1.00	0.0030	117	1.1373	1.14	2.23	24	0.16	1.199	3.84
2	1.028	3.70	2.00	0.0065	235	2.44545	4.89	9.59	22	1.24	2.51	27.28
3	1.542	5.55	3.00	0.0159	352	5.984	17.95	35.2	21.7	4.19	6.314	90.923
4	2.056	7.40	4.00	0.0343	469	12.86603	51.46	100.91	20.6	9.93	13.574	204.558
5	2.570	9.25	5.00	0.0644	587	24.20256	121.01	237.28	20.4	19.39	25.535	395.556
6	3.084	11.10	6.00	0.1094	704	41.10515	246.63	483.59	19.7	33.5	43.368	659.95
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.6 Tabel Solar Boat Tanpa MPPT dan BMS.

Knot	Vs		Va	Q	n	Thrust	ThP	DHP	Tegangan	Arus	Resistance	Power Consumption
	m/s	km/h				Lbs	Watt	Watt	V	I	Rt	Watt
1	0.514	1.85	0.65	0.0030	117	1.763256	1.14	2.23	25.6	0.16	1.199	4.096
2	1.028	3.70	1.29	0.0065	235	3.791395	4.89	9.59	25.6	1.24	2.51	31.744
3	1.542	5.55	1.94	0.0159	352	9.277519	17.95	35.2	25.6	4.19	6.314	107.264
4	2.056	7.40	2.58	0.0343	469	19.94733	51.46	100.91	25.6	9.93	13.574	254.208
5	2.570	9.25	3.23	0.0644	587	37.52335	121.01	237.28	25.6	19.39	25.535	496.384
6	3.084	11.10	3.87	0.1094	704	63.72891	246.63	483.59	25.6	33.5	43.368	857.6
7	3.598	12.95	4.52	0.1720	822	100.2887	452.80	887.85	25.6	53.2	68.246	1361.92
8	4.112	14.80	5.16	0.2555	939	148.9249	768.45	1506.77	25.6	79.42	101.344	2033.152
8.12939	4.179	15.04	5.24	0.3628	1056	293.9989	1226.96	2405.81	25.6	83.39	143.8833	2133
9	4.626	16.65	5.81	0.4963	1174	321.4731	1866.15	3659.12	25.6	113.08	155.11	2894.848
10.0	5.140	18.50	6.45	0.5096	1250	316.2791	2040.00	4000	25.6	155.11	210.468	3970.816

4.6 Pengujian *solar boat* dengan MPPT dan BMS.

Pada kapal Jalapatih 2 dengan menggunakan BMS didapatkan grafik :



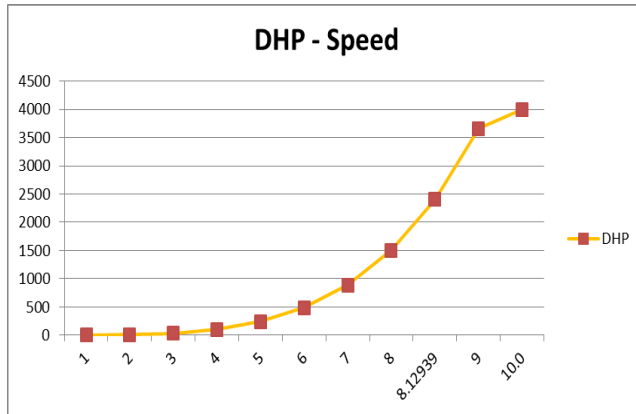
Gambar 4.14 Hubungan antara torsi dengan kecepatan menggunakan MPPT.

Dari gambar 4.14 didapatkan bahwa hubungan antara Torsi dan Kecepatan memiliki hasil yang sebanding dan Kecepatan meningkat secara linear dengan formula :

$$Q \text{ (Torsi)} = \text{DHP} / 2\pi n$$

$$\text{DHP (Delivered horse power)} = \text{EHP} / P_c$$

$$\text{EHP (Effective horse power)} = R_{t \text{ srv}} \times V_s$$

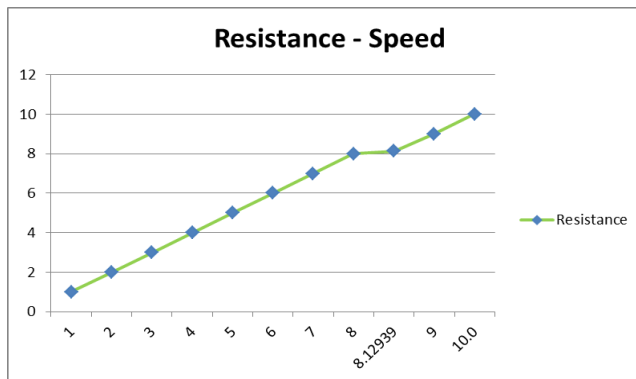


Gambar 4.15 Hubungan antara *delivered horse power* dengan kecepatan menggunakan MPPT.

Dari gambar 4.15 didapatkan bahwa hubungan antara DHP dan kecepatan didapatkan hasil yang sebanding dan kecepatan dapat naik secara linear dengan formula :

$$\text{DHP (Delivered horse power)} = \text{EHP}/P_c$$

$$\text{EHP (Effective horse power)} = R_t \text{ sr}v \times v$$



Gambar 4.16 Hubungan antara tahanan dengan kecepatan menggunakan MPPT.

Dari gambar 4.16 didapatkan bahwa hubungan antara tahanan dan kecepatan didapatkan hasil yang sebanding dan kecepatan dapat naik secara linear, metode perhitungan tahanan dilakukan dengan metode Holtrop dengan formula :

$$R_t \text{ (tahanan total)} = R_v(1+k) + R_{app} + R_b + R_{tr} + R_w + R_a$$

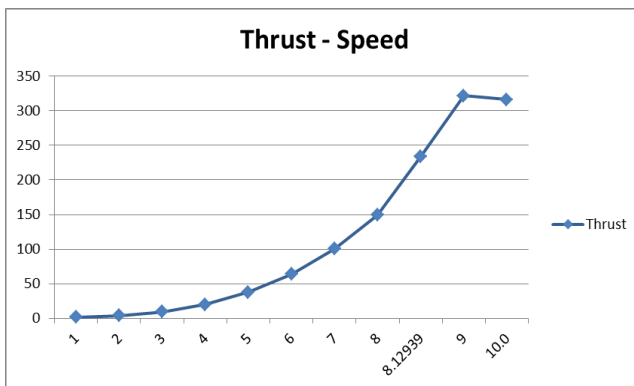
$$R_a \text{ (tahanan udara)} = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot c_a \cdot s$$

$$R_w \text{ (tahanan gelombang)} = c_1 \times c_2 \times c_5 \times W \times e^{[(m_1 \times F_n^d) + m_2 \times \cos(\lambda F_n^d - 2)]}$$

$$R_{tr} \text{ (tahanan transom)} = 0,5 \times p \times V^2 \times A_t \times C_6$$

$$R_{app} \text{ (tahanan sisa)} = 0,5 \times \rho \times V^2 \times S_{app} \times (1+k_2) \cdot e_q \times C_f$$

$$R_v \text{ (tahanan gesek)} = 0,5 \rho (V^2) C_f (1+k_1) S$$



Gambar 4.17 Hubungan antara *thrust* dengan kecepatan menggunakan MPPT

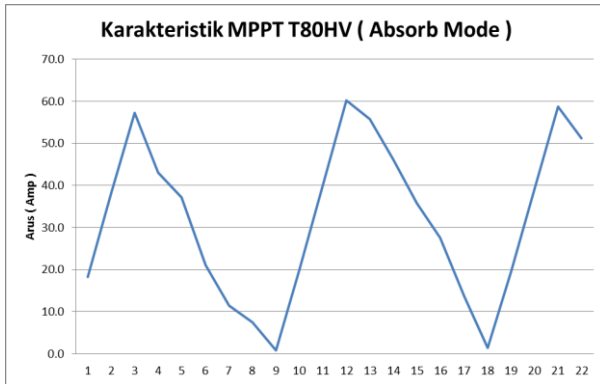
Dari gambar 4.17 didapatkan bahwa hubungan antara *thrust* dan kecepatan didapatkan hasil yang sebanding perhitungan *thrust* dilakukan dengan formula:

$$THP \text{ (Daya dorong kapal)} = T \times V_a$$

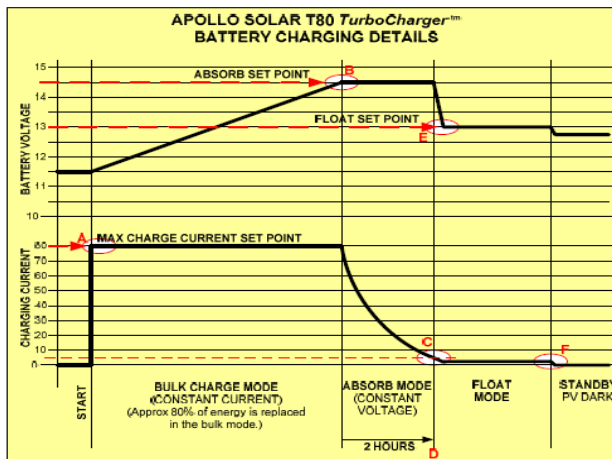
$$V_a \text{ (Advance Speed)} = (1 - w) \times V$$

4.7 Karakteristik MPPT T80 HV dan BMS.

Karakteristik MPPT T80HV berdasarkan pengujian, didapatkan tabel dan Grafik seperti berikut :



Gambar 4.18 Karakteristik MPPT T80HV *Bulk Mode*



Gambar 4.19 Karakteristik MPPT T80HV

Tabel 4.7 Parameter MPPT T80 HV

Parameter	Nilai
Vin Min	10 Volt
Vin Max	180 Volt
Vout	25.4 Volt
I max	70 Amp
Frekuensi PWM	45 kHz
ΔI_o	0.325 A
ΔV_o	0.336 V

$$D = \frac{V_o}{V_g} = \frac{25.8}{180} = 0.143 \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta I = \frac{(V_i - V_o) \times V_o}{f \times L \times V_i}$$

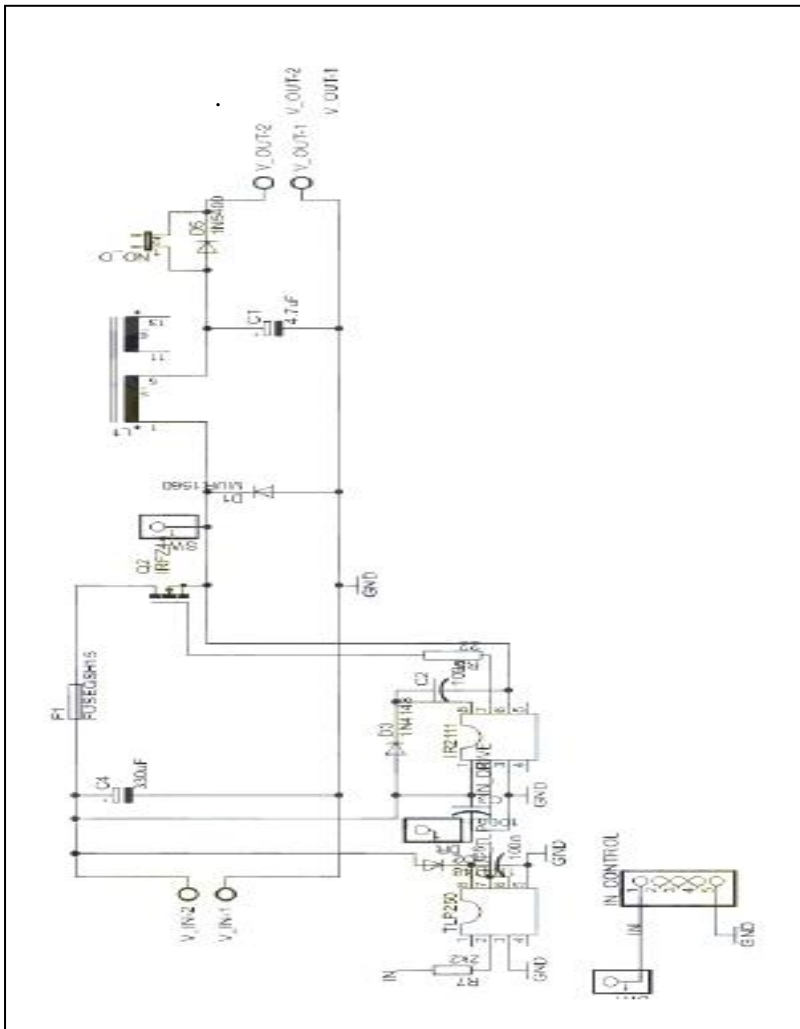
$$L = \frac{(V_i - V_o) \times V_o}{\Delta I \times f \times V_g} = \frac{(180 - 25.8) \times 25.8}{(0.325) \times 45000 \times 180} \dots\dots\dots (2)$$

$$= 1510 \mu H$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta I}{8 \times f \times C}$$

$$C = \frac{\Delta I}{\Delta V_o \times 8 \times f} = \frac{0.325}{0.2 \times 8 \times 45000} = 4.51 \mu F$$

Nilai L, C diatas merupakan nilai minimum yang diminta untuk pembuatan *Buck Converter*, sehingga dipilih L = 1600 uH dan C = 4.7uF.



Gambar 4.20 Blok Diagram Konfigurasi MPPT.

Pada rangkaian gambar 4.20, Q2 merupakan Transistor MOSFET utama untuk switching *Buck Converter*. MOSFET di-drive oleh IC IR2111 yang diberi *input* PWM dari

mikrokontroller ke Pin 2 (Pin IN) dan menggunakannya untuk men-drive *Switching* MOSFET. Karena Q2 merupakan N-Channel MOSFET, sehingga membutuhkan *input* tegangan *gate* lebih besar daripada tegangan *source* (yang merupakan *input* dari panel surya). maka IC IR2111 memanfaatkan rangkaian pembesar tegangan (*charge pump circuit*) yang dibuat oleh dioda D3 dan kapasitor C2 untuk menaikkan tegangan Gate sehingga Q2 Duty Cycle PWM selalu dimonitor dan dikontrol oleh mikrokontroller, dan tidak pernah dibiarkan untuk 100% agar rangkaian pembesar tegangan (D3 dan C2) dapat selalu bekerja. D1 adalah *ultrafast* Dioda yang akan selalu bekerja untuk meneruskan arus. Hal ini akan membuat Converter ini lebih efisien. L1 adalah Induktor utama yang berfungsi untuk menyimpan arus hasil *switching* serta C1 yang berfungsi untuk memfilter *output* tegangan.

Dalam hubungannya terhadap panel surya, converter seolah-olah berfungsi sebagai regulator tegangan yang dapat bekerja otomatis jika terjadi perubahan level *illuminasi sun power*. Sehingga dengan mengatur tegangan input konverter otomatis juga dapat mengatur daya output konverter. Oleh karena hal itu sistem konverter berfungsi sebagai pengatur daya yang dihasilkan oleh panel surya menjadi maksimum .

Untuk hubungan antara V_{out} , V_{in} dan D pada konverter buck-boost seperti ditunjukkan pada persamaan

$$D = \frac{V_o}{V_g} = \frac{25.8}{180} = 0.143$$

Untuk pemilihan nilai parameter kapasitor pada konverter bekerja dalam keadaan CCM maka desain C lebih besar dari C_{min} , sedangkan bila bekerja dalam keadaan DCM maka desain C lebih kecil dari C_{min} seperti terlihat pada persamaan

$$C = \frac{\Delta I}{\Delta V_o \times 8 \times f} = \frac{0.325}{0.2 \times 8 \times 45000} = 4.51 \mu F$$

dimana V_{ripple} adalah toleransi ripple tegangan output dan f merupakan frekuensi untuk *duty cycle*. Begitu pula dalam pemilihan nilai parameter induktor pada konverter bekerja dalam keadaan CCM maka desain L lebih besar dari L_b sedangkan bila bekerja dalam keadaan DCM maka desain L lebih kecil dari L_b seperti terlihat pada persamaan

$$L = \frac{(V_i - V_o) \times V_o}{\Delta I \times f \times V_g} = \frac{(180 - 25.8) \times 25.8}{(0.325) \times 45000 \times 180} = 1510 \mu H$$

Pada tugas akhir ini digunakan konverter dc-dc *buck-boost* yang dioperasikan dalam CCM (*Continous Conduction Mode*). Sehingga dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas dapat didesain sebuah konverter dc-dc buck boost dengan dipilih nilai parameter yang umum dijumpai di pasaran yang terlihat pada tabel 4.8 .

Tabel 4.8 Nilai Induktansi dan kapasitansi dari MPPT

Induktor / Kapasitor	Keterangan
L (Induktor)	1600 μH
C (Kapasitor)	4.7 μF

Tabel 4.9 Skema *width open* dari dioda pada MPPT

(%)	V_i (V)	I_i (A)	P_i (W)	V_o (V)	I_o (A)	P_o (V)	Effisiensi (%)
10	37.4	3.19	119.306	25.6	3.1	79.36	66.52
20	43.19	3.55	153.3245	25.6	3.2	81.92	53.43
30	43.42	3.73	161.9566	25.6	3.3	84.48	52.16
40	43.38	3.16	137.0808	25.6	3.4	87.04	63.50
50	42.75	3.92	167.58	25.6	3.5	89.6	53.47
60	44.67	3.44	153.6648	25.6	3.6	92.16	59.97
70	35.56	3.47	123.3932	25.6	3.7	94.72	76.76
80	36.62	3.45	126.339	25.6	3.8	97.28	77.00
90	37.89	3.54	134.1306	25.6	3.9	99.84	74.43

V_i didapatkan dari pengukuran tegangan yang masuk sebelum MPPT.

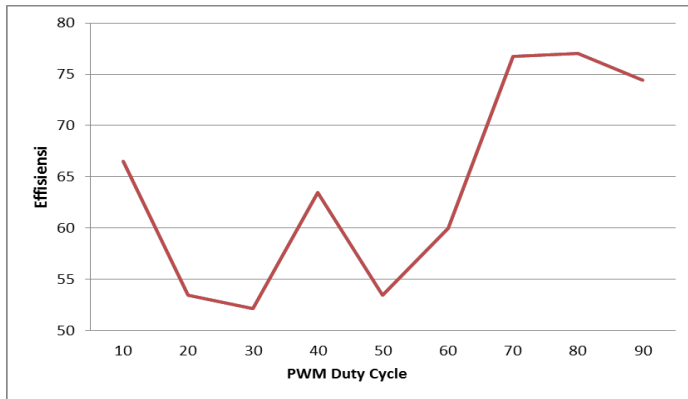
I_i didapatkan dari pengukuran arus yang masuk sebelum MPPT.

P_i merupakan besaran daya hasil dari perkalian tegangan dan arus yang masuk sebelum MPPT.

V_o merupakan tegangan yang keluar dari MPPT menuju motor, besaran nya bersifat konstan dan tertera di display RD *Wired* saat pengukuran.

I_o merupakan variasi dari arus yang dihasilkan dari MPPT, besaran arus merupakan variabel saat pengukuran, karna arus nya bersifat tidak konstan, tergantung buka tutup *ultrafast* dioda.

P_o merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus yang keluar ke MPPT menuju beban.

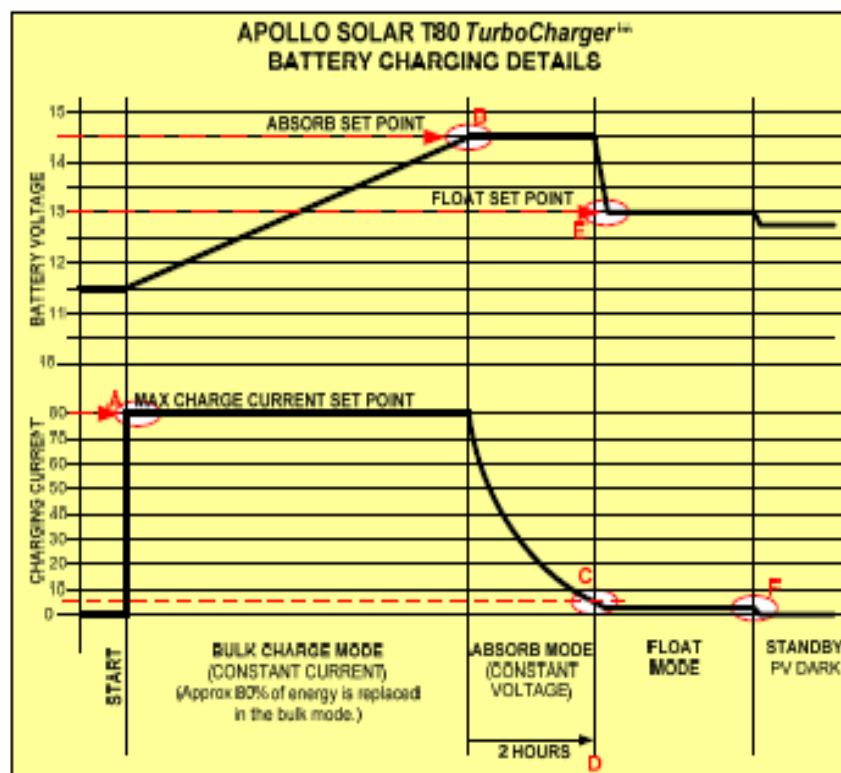


Gambar 4.21 pengaruh efisiensi terhadap *Pulse width modulation*.

Dari gambar 4.21 tersebut didapatkan bahwa, cara kerja MPPT dengan mencari titik tegangan maksimum dilakukan dengan cara mengatur persentase buka tutup dari dioda yang ada pada MPPT berdasarkan nilai efisiensi tertinggi selama interval waktu tertentu.

Dari tabel 4.9 dapat disimpulkan, efisiensi rata-rata yang dihasilkan cukup baik yaitu 66 %, hal tersebut disebabkan mosfet, potensiometer ataupun disipasi pada komponen elektrik.

THEORY OF OPERATION



Bulk: In the Bulk Mode the Controller is trying to get the battery voltage up to the Absorb Voltage Setting (B). It will use all the power it can get from the panels limited only by the Maximum Charge setting (A). When the Absorb Voltage is reached on the batteries, the charger switches into Absorb Mode.

Absorb: In this mode the Charger will supply just enough current to maintain the Absorb Voltage setting. This current will gradually decrease over time with a constant load but can vary due to outside loads. The charger stays in absorb until the Absorb Timer counts down to 0 or for as long as the batteries were in Bulk Mode that day which ever time is shorter. The timer is suspended if the Battery Voltage drops 1 V below the Absorb Voltage Setting due to loading. When the Timer counts down to 0 the Charger goes into Float Mode (D). At this point, the Charger will output a minimum current (C), unless a load requires more.

Float: When first switching to this mode the Charger may experience a short period of 0 Amps output. This is because the Absorb Voltage is usually set higher than the Float Voltage and the controller waits for the battery voltage to drop. In this mode the Charger will supply just enough current (F) to maintain the Float Voltage setting (E). The current required to maintain the battery at this voltage is usually fairly small but as loads are applied the current will rise to try to maintain the voltage level.

Standby: The Charger will go into the Standby mode whenever the PV Voltage applied to the input is less than the Battery Voltage on the output +10%. Example: If the Battery Voltage = 49.0V then the PV Voltage must be at least 53.9V or the unit will stop charging and go into Standby Mode.

PLANNING YOUR SYSTEM

Loads

Congratulations on choosing a solar electric system, when designed and installed properly it should give you decades of service life. The TurboCharger™ is a key component in your PV system. From a system planners perspective it is very flexible with the ability to accept a wide range of input voltages and produce a similarly wide range of output voltages. Never-the-less some planning and choice is required when deciding on the components and configuration of your PV system.

The first step in planning a PV system is to know something about the load. What is the power intended for? How much power will be required? There are many resources available in print and on-line to help determine average and peak load requirements we recommend using these resources to calculate anticipated load requirements. We also recommend that planners design for load growth. Experience has shown that loads rarely remain static and are reduced even less frequently. Once the load characteristics are determined the system planner may move to make decisions about the appropriate battery voltage.

Determining Battery Voltage

A major factor in making this decision is how much power will be required from the batteries. As power demands increase it is advisable to raise the battery voltage. A limiting factor in system design is current – it is expensive to move and provide circuit protection for large amounts of current (amps). A basic rule of electricity states “current = power/voltage”. This means that the higher the battery voltage the lower the current will be for any given load. For example a 96 watt load at 12 Volts draws 8 amps the same load at 48 Volts draws only 2 amps of current.

The table below shows rule-of-thumb recommendations for battery system voltage choices and maximum inverter sizes.

Load in kWh per day	Battery Voltage	Suggested Inverter Size
Under 2 kWh per day	12 Vdc	Up to 2.5 kW
2 to 6 kWh per day	24 Vdc	2-4 kW
Over 6 kWh per day	48 Vdc	3 kW and larger

Other factors in making this decision will include the size of the inverter.

A final factor in this decision is how much power will be required from the PV array. The TurboCharger™ is designed to produce 80 amps of output current. The amount of power this represents will be dependent on the output voltage (battery bank voltage). At 12 Vdc output 80 amps is 960 watts of power, at 48 Vdc output 80 amps is 3840 watts of power. The example above demonstrates that the amount of current or input power the TurboCharger™ will accept is limited by the system battery voltage.

Note: Although it supports 12V, the T80HV is not recommended for 12V systems, the T80 should be considered instead as it is more efficient in 12V applications.

Interfaces

- 2 digital signal outputs for controlling charge and discharge limiting mechanisms
- 1 digital signal output for controlling a battery charger
- 1 CANBUS 2.0B interface [optional] (both standard and extended IDs supported)
- 1 digital RS-232 interface for programming and diagnostics
- 3 multi-purpose outputs with software assignable functions (2 on Rev. B)
- 1 multi-purpose input with software assignable functions
- 3 analog 0-5v outputs that represent the following signals: Charge Current Limit (CCL), Discharge Current Limit (DCL), State of Charge (SOC).
- 3 thermistor inputs (additional monitoring possible with thermistor expansion module) (2 on Rev. B)

Features

- Centralized design allows for faster polling of data resulting in increased accuracy and resistance to EMI
- No cell boards (all electronics are contained within the unit.)
- Supports OBD2 protocol for storage of diagnostic trouble codes, freeze frame snapshots and polling of live data
- PC software can be used to monitor battery performance, read and reset trouble codes, program battery profile information, and update settings
- Accurate amp-hour and pack state of charge tracking (with correction based on cell open voltage)
- Retains data when power is lost (no always-on power source needed)
- Charger integration to allow for tapering of current during charge (if supported by charger)
- Battery profile information and settings are field programmable via PC utility.
- Internal resistance is measured for all individual cells
- Pre-calculated charge and discharge current limits
- Stores a snapshot of active data when faults occur for easy problem diagnosis.

Dimensions

- 7.14 in (W) x 4.01 in (L) x 1.50 in (H)

Specification Item	Min	Typ.	Max	Units
Supply Voltage	10		60	Vdc
Supply Current—Active (Rev. C)		1.1		W
Operating Temperature	-40		80	C
Digital Output Voltage (Open Drain) (Rev. B & C)			60	V
Digital Output Sink Current (60v max—Rev. B & C)			175	mA
Analog Outputs Voltage	0		5	V
Cell Voltage Measurement Range	0.5		5	V
Cell Voltage Measurement Error (over 1-5v range)		0.25		%
Cell Balancing Current			150	mA
Cell Voltage Resolution		1.5		mV

Optional Specifications	
Items	Value
CANBUS speed (on supported units)	125, 250, 500, or 1000 Kbps
Current Sensor Values Supported (all 50mV shunts)	20A, 50A, 100A, 150A, 200A, 333A, 400 A, 500A (600A and 1000A supported with reduced resolution)

Model		NSLi 24-60
Nominal Voltage		24V ~ 28.8 V
Nominal Capacity		60Ah \pm 2 Ah
Internal Impedance		$\leq 15\text{m}\Omega$
Charge Current		Std :20 A/ Max :20 A
Charge Voltage		28.8V \pm 0.2V
Charge Method		CC-CV
Discharge Current		Std : 20 A/ Max : 20 A
Discharge Cut-off Voltage		23.8V \pm 0.5V
Operating Temperature	Charge	-10 $^{\circ}$ C ~ 50 $^{\circ}$ C
	Discharge	-10 $^{\circ}$ C ~ 50 $^{\circ}$ C
Storage	Temperature	-10 $^{\circ}$ C ~ 40 $^{\circ}$ C
	Relative Humidity	< 80%
Approximate Weight		17Kg \pm 0.5Kg
Battery pack are equipped with Battery Management System (BMS) to satisfy long life property by focusing on protection on low voltage, protection of over voltage and balancing charging control		

4. Protection Mechanism

4-1 Voltage Protection : The voltage detection is on single cell.

4-2 Nominal Working Conditions

4-2-1 Operating Humidity Range : 10% ~ 85%

4-2-2 Battery Voltage : 24V ~ 28.8V

4-3 Operation Behavior

4-3-1 Over Voltage Point (Charge mode) :

A. Cell voltage over 3.95V \pm 0.05V cut-off

B. Release condition : the maximum cell-voltage < 3.5V \pm 0.05V

4-3-2 Low Voltage Point (Discharge mode) :

A. Cell voltage under 2.975V \pm 0.05V cut-off

B. Release condition : the maximum cell-voltage > 3.2V \pm 0.05V

4-4 Balance Enable :

4-4-1 Any cell-voltage higher than average cell-voltage as charging signal is detected.

4-4-2 Cell-voltage $\geq 3.65\text{V}$ (force to enable).

4-4-3 Balance current $\geq 100\text{mA}$.

4-5 Special Features for Charging LiFePO4 Battery

4-5-1 Recommend the max charging voltage limited to 28.8V \pm 0.2V for each 8-serial Battery (3.6V for each cell).

4-5-2 Recommend the charger shall support the CC then CV modes, transferring range of CC to CV is 26.4V~28.8V.

Outboards < 20 HP Equivalent

	ULTRALIGHT 403		TRAVEL 503	TRAVEL 1003	CRUISE 2.0	CRUISE 4.0	CRUISE 2.0	CRUISE 4.0	TWIN CRUISE 2.0	TWIN CRUISE 4.0
	S/L	S/L	S/L	S/L	TS/TL	TS/TL	RS/RL	RS/RL	R	R
Input power in watts	400	500	1,000	1,000	2,000	4,000	2,000	4,000	4,000	8,000
Propulsive power in watts	180	220	480	480	1,120	2,240	1,120	2,240	2,240	4,480
Comparable combustion outboards (propulsive power)	1 HP	1.5 HP	3 HP	3 HP	5 HP	8 HP	5 HP	8 HP	8 HP	15 HP
Comparable combustion outboards (thrust)	2 HP	2 HP	4 HP	4 HP	6 HP	9.9 HP	6 HP	9.9 HP	12 HP	20 HP
Maximum overall efficiency in %	45	44	48	48	56	56	56	56	56	56
Static thrust in lbf*	33	40	68	68	115	189	115	189	230	378
Integrated battery	320 Wh Li-Ion	320 Wh Li-Ion	530 Wh Li-Ion	530 Wh Li-Ion	-	-	-	-	-	-
Nominal voltage	29.6	29.6	29.6	29.6	24	48	24	48	24	48
Final charging voltage	33.6	33.6	33.6	33.6	-	-	-	-	-	-
Total weight in kg	7.3	12.9 (S) / 13.5 (L)	13.4 (S) / 14.0 (L)	18.3 (S) / 19.4 (L)	17.5 (S) / 18.6 (L)	15.3 (S) / 16.2 (L)	16.1 (S) / 17.0 (L)	31.0 (S) / 33.1 (L)	32.5 (S) / 34.5 (L)	-
Motor weight without battery in kg	4.4	8.9 (S) / 9.5 (L)	8.9 (S) / 9.5 (L)	-	-	-	-	-	-	-
Weight of integrated battery in kg	2.9	4.0	4.5	-	-	-	-	-	-	-
Shaft length in cm	45	62.5 (S) / 75 (L)	62.5 (S) / 75 (L)	62.5 (S) / 75 (L)	62.5 (S) / 75.5 (L)	62.5 (S) / 75.5 (L)	62.5 (S) / 75.5 (L)	62.5 (S) / 75.5 (L)	62.5 (S) / 75.5 (L)	62.5 (S) / 75.5 (L)
Standard propeller (V = speed in km/h at p = power in watts)	V10/p350	V9/p390	V9/p390	V9/p390	V19/p4000	V19/p4000	V19/p4000	V19/p4000	V19/p4000	V19/p4000
Alternative propeller options	-	V8/p350	-	V8/p350	V8/p350	V8/p350	V8/p350	V8/p350	V8/p350	V8/p350
Maximum propeller speed in rpm	1,200	700	1,200	1,200	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300
Control	Remote throttle	Tiller	Tiller	Tiller	Tiller	Remote throttle	Remote throttle	Remote throttle	Remote throttle	Remote throttle
Steering	Provision to connect to kayak rudder; lockable	360° lockable	360° lockable	360° lockable	360° lockable	Provision to connect to standard remote steering; lockable	Provision to connect to standard remote steering; lockable	Provision to connect to standard remote steering; lockable	Provision to connect to standard remote steering; lockable	Provision to connect to standard remote steering; lockable
Tilting device	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection	Manual with grounding protection
Trim device	-	Manual, 4-step	Manual, 4-step	Manual, 4-step	Manual, 4-step	Manual, 4-step	Manual, 4-step	Manual, 4-step	Manual, 4-step	Manual, 4-step
Stepless trim and reverse drive	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Integrated on-board computer with display	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

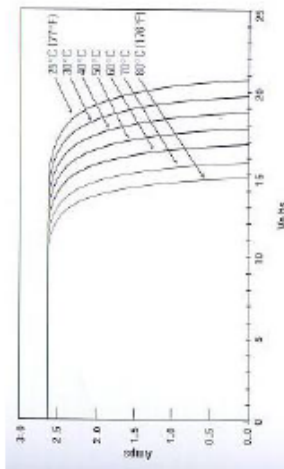
* Torpedos static thrust measurement is based on internationally accepted ISO standards. Static thrust figures for conventional trolling motors are typically measured differently, which results in higher values.

To compare Torpedos static thrust data with conventional trolling motors, add approximately 50% to the Torpedos static thrust values.

Estimation of Intensity

Data of Total Solar Cell (parallel)						
No	Jam (WIB)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Wp)	Intensitas Matahari (W/m ²)	Intensitas Cahaya (Lux)
1	9:41	37.4	3.19	119.31	527	51900
2	9:52	43.19	3.25	153.32	553	61300
3	10:27	43.42	3.73	161.96	927	61300
4	10:44	43.38	3.16	137.08	1087	65400
5	10:38	42.75	3.92	167.58	943	78200
6	11:06	44.67	3.44	153.66	923	81900
7	11:21	35.56	3.47	123.39	532	97800
8	11:34	36.62	3.45	126.34	462	108000
9	11:49	37.89	3.34	124.13	876	121000
10	12:17	36.14	3.31	119.62	921	132000
11	12:27	32.44	3.31	107.38	878	141000
12	12:35	38.38	3.65	140.82	856	98000
13	12:41	37.42	3.93	147.06	833	87500
14	13:02	37.56	3.95	148.36	784	84300
15	13:07	38.11	3.11	118.52	798	76000
16	13:17	32.14	3.14	100.92	736	72000
17	13:38	32.19	3.45	111.06	728	68000
18	13:43	33.98	3.43	116.25	734	66100
19	14:16	31.43	3.42	107.49	512	52000
20	14:31	35.78	3.47	124.16	629	51600

from table above, we can conclude that the energy (Wp), depend on Voltage of Solar cell, and then Voltage of Solar Cell depend on Intensity of sun and light increasing of the sunlight not linear with voltage, because solar cell have a good condition at 25° c



how to work solar cell : Solar cell work caused by absorbing of intensity of the sun (W/m²) through the material solar cell (semiconductor), absorbing of energy have impact to electron moving away for each other, this electron current are electric energy, energy from each solar cell to small, so designer make it compact by produce the module of it. and now it called solar cell. (how to work solar cell, 2003)

Solar Cell have operation maximum at temperature 25 degree, each of increasing of temperature 1 degree, it will be depreciated of voltage about 0.4 % (taken from, Strong, Steven I, 1987)

Solar cell when produce electric energy not depend on silicon area and constant to produce energy about 0.5 V it called " 1 Sun " will generate electric energy about 30 Ma/cm2 each solar cell (Taken from Danny Santoso, 2000)

In graphic beside it presentated when solar cell normal operation, solar cell will produce maximum energy if IMP and IMP at Maximum condition, and Isc is current when voltage zero condition, Isc depend on Intensity of sun. Vsc is Maximum Voltage at zero Current, logarithmic it could be charging battery.

Pembebanan konstan, kondisi motor tidak dinyalakan.

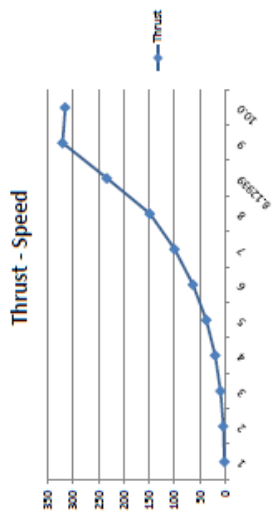
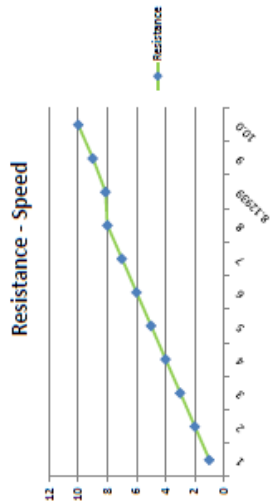
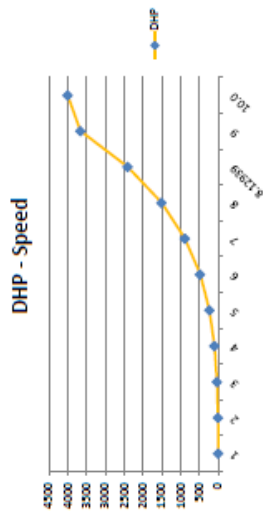
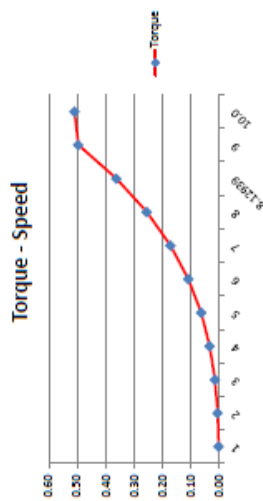
Data of Trial Solar Cell (parallel)						
No	Jam (WIB)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Wp)	Intensitas Matahari (W/m ²)	Intensitas Cahaya Lux)
1	9:41	37.4	3.19	119.31	1027	52900
2	9:52	43.19	3.35	143.32	933	61900
3	10:27	43.42	3.73	161.96	927	62300
4	10:44	43.38	3.15	137.08	1087	65400
5	10:58	42.75	3.92	167.58	943	78200
6	11:06	44.67	3.44	153.66	932	81900
7	11:21	35.56	3.47	123.39	932	97600
8	11:34	36.62	3.45	126.34	962	108000
9	11:49	37.89	3.54	134.13	876	121000
10	12:17	36.14	3.31	119.62	921	132000
11	12:27	32.44	3.31	107.38	878	141000
12	12:35	38.58	3.65	140.82	856	98000
13	12:41	37.42	3.93	147.06	823	87900
14	13:02	37.56	3.95	148.36	784	84300
15	13:07	38.11	3.11	118.52	798	76000
16	13:17	32.14	3.14	100.92	726	72000
17	13:38	32.19	3.45	111.06	728	68000
18	13:43	33.98	3.43	116.55	734	66900
19	14:16	31.43	3.42	107.49	512	52000
20	14:31	35.78	3.47	124.16	629	51600

Data of Trial MPPT									
No	Waktu	Vinput	Iinput	Voutput	Ioutput	I kumulatif	charging	absorp	power
1	9:04:01	114.7	4.1	25.8	18.2	18.2			470.3
2	9:04:02	114.3	4.5	25.8	19.9	38.2			584.6
3	9:04:03	114.1	4.3	25.8	19.0	57.2			1475.3
4	9:04:04	113.2	4.8	25.8	21.1	43.1			1112.0
5	9:04:05	113.5	4.8	25.8	21.1	37.2			949.8
6	9:04:06	113.3	4.8	25.8	21.1	21.1			544.4
7	9:04:07	113.3	4.8	25.8	21.1	11.4			284.1
8	9:04:08	114.3	4.8	25.8	21.3	7.5			193.5
9	9:04:09	114.3	4.3	25.8	19.1	0.8			20.6
10	9:04:10	114.7	4.5	25.8	20.0	20.0			516.2
11	9:04:11	115.2	4.5	25.8	20.1	40.1			1034.6
12	9:04:12	115.2	4.5	25.8	20.1	60.2			1553.0
13	9:04:13	115.2	4.5	25.8	20.1	93.7			1437.1
14	9:04:14	115.1	4.6	25.8	20.5	48.2			1192.0
15	9:04:15	116.6	4.6	25.8	20.8	35.8			923.6
16	9:04:16	116.1	4.6	25.8	20.7	27.6			712.1
17	9:04:17	115.8	4.6	25.8	20.6	13.6			390.9
18	9:04:18	117.1	4.3	25.8	19.5	1.4			36.1
19	9:04:19	117.3	4.3	25.8	19.6	19.6			504.4
20	9:04:20	117.7	4.3	25.8	19.6	39.2			1010.5
21	9:04:21	117.2	4.3	25.8	19.5	58.7			1514.5
22	9:04:22	117.8	4.4	25.8	20.1	51.2			1321.0

INTERVAL BULK MODE

Correlation of Battery-Engine-Propeller				Detail Prime Mover 2		Detail Prime Mover 3	
Route	=			Rotation Control	=	Coef Resistance	=
Distance	=	44 Km		$Es = Es + Is \times Ra$	=	$0.5 \times C \times D - 0.03$	=
Source	=	23.76 Nm		$Is =$ Back Emf Arm (GGL ind.)	=	1.147	=
Vin Battery	=	1465 W		$Is =$ Arm. Current	=	0.355	=
Vo Battery	=	24-37 V		$Is =$ Resistance winding	=	$k \times w$	=
Capacity of Battery	=	3 Ah		below :	=	0.3495	=
Vmax Prime Mover	=	Power /		from electric dc motor equation, we could use formula as	=	$0.5 \times Ct \times s / (1-w) \times (1-t)^2 \times D^4$	=
Diameter Prop.	=	488.3 Volt			=	678.861308	=
	=	0.3 m			=	$B \times J^2$	=
	=				=	0.15093277	=
	=				=	$Rt \times p \times n^2 \times D^4$	=
	=				=	JD	=
	=				=	1008	=
	=				=	168.0	=
	=				=	$(1-w) \times VZP$	=
	=				=	5.54140785	=
	=				=	4020.00	=
	=				=	83.5	=
	=				=	1.15	=
	=				=	THP / Va	=
	=				=	154.0613383	=
	=				=	Max 214 Lbs	=
	=				=	Simulation Power Consumption 24 V	=
	=				=	For simulation Purpose	=
	=				=	8.59113	=
	=				=	5.5414	=
	=				=	115.139	=
	=				=	184.069	=
	=				=	1020.00	=
	=				=	3000.00	=
	=				=	Max 2000 W Taken From Catalogue	=
	=				=	24.000	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	1 nominal	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=				=	83.33	=
	=				=	230.000	=
	=				=	Start	=
	=						

Graphic Correlation

[illegible]

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka didapat kesimpulan :

1. Penggunaan MPPT dan BMS dapat meningkatkan kecepatan kapal hampir 100% dari 4 knot ke 7,8 knot, karna tegangan yang masuk ke motor konstan tanpa terjadi *drop voltage* yang menyebabkan terjadinya *cut off voltage* pada motor.
2. *Setting* yang tepat untuk MPPT adalah saat *ultrafast dioda* dan *thyristor* membuka 80 %, Namun pada MPPT T80HV hal itu terprogram otomatis dari PWM.
3. Penggunaan MPPT dan BMS dapat menjaga kondisi baterai tetap optimal, karna BMS menjaga kondisi baterai tetap seimbang antara setiap rangkaian seri ketika operasi *charge-discharge* berlangsung.

5.2 Saran

1. Riset dan karakteristik tentang baterai lithium perlu dikembangkan guna keperluan riset selanjutnya
2. karakteristik pengaman (*fuse*) paralel dan tunggal perlu dipahami, kenapa pengaman paralel dengan jumlah arus yang sama dengan tunggal selalu mengalami kerusakan
3. Perhitungan detail terkait komponen elektronika yang ada pada MPPT masih harus terus dilakukan untuk mendapatkan *setting* yang sesuai dan memahami *troubleshooting* nya.
4. Metode perhitungan BMS baik yang aktif maupun pasif masih harus dilanjutkan guna mengetahui cara kerja BMS untuk menghitung muatan setiap sel secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Indonesia Energy Outlook 2010, Pusdatin ESDM.*
2. *H.J bergvel 2001, battery management system.*
3. *Rui HU 2011, University of Windsor, Battery management system.*
4. *Kari ytilova 2011,ward leonard syste, central ostrobotnia.*
5. *Installation and Manual T80 HV, 2011, Appolo solar.*
6. *Fauzan, 2012, Rancang bangun kincir angin savonius dengan solar cell, PNJ.*
7. *B.L Theraja 1999, electrical technology.*
8. *Herbert K. Horbruegger, Mustapha Toutaoui 1984, Digitalized Ward leonard.*
9. *Zahra, cut, 2013, Universitas Negeri Jakarta, Rangkaian*

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 27 September 1991, penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, penulis menempuh pendidikan di SDN Mekarjaya XI, SMP PGRI, SMP Suluh dan SMA Suluh serta menempuh pendidikan jenjang perguruan tinggi di Politeknik Negeri Jakarta jurusan teknik Mesin Program Studi Sistem Pembangkit Listrik serta menempuh jenjang pendidikan strata 1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, penulis aktif dalam kegiatan ilmiah di kampus yaitu mengikuti kejuaraan dunia kapal cepat *dutch solar challenge* di Belanda sebagai teknisi listrik dan perencanaan teknis, penulis memiliki pengalaman kerja sekitar 2 tahun sebagai staff konsultan listrik untuk industri dan *automation engineering* di PT Denso Indonesia serta turut serta dalam berbagai *project* di Honda dan Toyota sebagai *HVAC engineering*.